

Ing. Martin Vetter

**Entwicklung und Konstruktion einer
Arbeitsstation zum Verfugen**

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Maschinenbau

Mittweida, 2011

Ing. Martin Vetter

**Entwicklung und Konstruktion einer
Arbeitsstation zum Verfugen**

eingereicht als

Diplomarbeit

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Maschinenbau

Steinach, 2011

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reglich

Zweitprüfer: Dipl.-Ing.(FH) Norbert Mair

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung

Vetter, Martin:

Entwicklung und Konstruktion einer Arbeitsstation zum Verfugen – 2011 – 100 Seiten

Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit

Referat

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Entwicklung und Konstruktion einer Arbeitsstation zum Verfugen. Die Arbeitsstation soll in den Fertigungsablauf des Produktes integriert werden. Beim Produkt handelt es sich um ein Photovoltaik-Laminat, das in einem vorangegangenen Arbeitsschritt mit Klebstoff in einen Aluminiumrahmen eingesetzt wurde. Der umlaufende Spalt soll mit einem weiteren Klebstoff bündig verschlossen werden. Die besondere Schwierigkeit liegt darin, dass die Abmessungen dieser Fuge nicht genau definiert sind. Es sollen mögliche Lösungskonzepte erarbeitet und bewertet werden.

Hinweis:

In dieser Diplomarbeit werden geschlechtsspezifische Begriffe wie Arbeiter, Mitarbeiter etc. verwendet. Dies geschieht aus Gründen der besseren Lesbarkeit. Selbstverständlich gelten diese Aussagen und Begriffe immer für beiderlei Geschlechter.

Vorwort

Nach der Entwicklung eines neuen Montagesystems für Photovoltaikmodule ergab sich auch die Notwendigkeit der Ausgestaltung einer wirtschaftlichen Fertigung. Die Diplomarbeit befasst sich mit einem Teilbereich dieser Fertigung und soll eine Entscheidungshilfe für die Umsetzung des Fertigungsschrittes Verfügen bieten.

Bedanken möchte ich mich bei allen Personen, die mich bei der Ausarbeitung dieser Arbeit unterstützt haben. Besonderer Dank gilt dabei auch der Firma Metallbau Nocker, die diese Arbeit erst ermöglicht hat und meinen Arbeitskollegen, die mich bei der Ausarbeitung unterstützt haben. Weiters möchte ich mich bei Dipl. Ing. (FH) Norbert Mair und dem Hochschulprofessor Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reglich für die Betreuung während der Erstellung der Diplomarbeit bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Ausgangssituation.....	4
2.1	Produktbeschreibung.....	4
2.2	Relevante Produktkomponenten.....	6
2.2.1	Materialanforderungen.....	6
2.2.2	Rahmen.....	7
2.2.3	Laminat.....	8
2.2.4	Klebstoff.....	8
2.2.5	Vergussmasse.....	9
2.3	Fertigungsablauf.....	9
2.4	Förderstrecke.....	11
2.4.1	Förderstrecke Rahmen/Modul.....	12
2.4.2	Förderstrecke Laminat.....	13
2.5	Klebestation.....	13
2.5.1	Ablauf.....	13
2.5.2	Dosieranlage.....	13
2.5.3	Roboter.....	14
2.5.4	Vorbehandlung.....	16
2.5.5	Positionierung Rahmen.....	17
2.5.6	Positionierung Laminat.....	17
2.5.7	Klebstoffauftrag.....	18
2.5.8	Lamineinbringung.....	18
2.6	Steuerung.....	19
3	Aufgabenanalyse.....	20
3.1	Abmessungen.....	20

3.2	Geometrieausbildung	21
3.2.1	Rahmen	22
3.2.2	Laminat	22
3.2.3	Klebstoff	24
3.2.4	Positionierung	25
3.2.5	Geometrieabweichungen	26
3.3	Vergussmassenmenge	27
3.4	Wirtschaftliche Gesichtspunkte	28
3.4.1	Durchsatz	28
3.4.2	Anlagenkosten	30
3.5	Vorschriften.....	30
3.6	Anforderungen	30
4	Recherche	32
5	Entwicklung von Lösungsvarianten.....	35
5.1	Manuelle Arbeitsstation	35
5.1.1	Modul aufnehmen	35
5.1.2	Fuge ausfüllen.....	36
5.1.3	Abziehen	36
5.2	Automatisches Vermessen der Fuge	37
5.2.1	Optische Messsysteme	37
5.2.2	Lasermesssystem	41
5.3	Automatisches Einbringen der Vergussmasse	42
5.3.1	Dosieranlage	43
5.3.2	Roboter.....	43
5.3.3	Zwei-Achs-System.....	44
5.4	Weitere Elemente für eine automatische Arbeitsstation	45
5.4.1	Positioniereinheit	45
5.5	Festlegung der Varianten	45
6	Bewertung der Lösungsvarianten	47
6.1	Festlegung der Bewertungskriterien	47
6.2	Einschätzung der Varianten	48

6.2.1	Variante 1	48
6.2.2	Variante 2	48
6.2.3	Variante 3	49
6.2.4	Variante 4	50
6.2.5	Variante 5	51
6.2.6	Variante 6	52
6.2.7	Variante 7	53
6.3	Bewertung der Varianten	53
6.4	Festlegung der bevorzugten Variante	55
7	Manuelle Arbeitsstation	56
7.1	Voraussetzungen der Arbeitsstation	56
7.2	Konstruktion Hubtisch	57
7.2.1	Modulaufnahme	57
7.2.2	Drehvorrichtung	59
7.2.3	Schwenkvorrichtung	60
7.2.4	Gesamtkonstruktion Hubtisch	63
7.3	Statik	65
7.4	Steuerung	69
7.5	Dosieranlage	69
8	Automatische Arbeitsstation	71
8.1	Voraussetzungen der Arbeitsstation	71
8.2	Ablauf der automatischen Arbeitsstation	71
8.3	Auswahl Handhabungseinrichtung	72
8.3.1	Anforderungen an die Zwei-Achs-Einheit	72
8.3.2	Anforderungen an den Roboter	73
8.3.3	Mögliche Ausführung der Zwei-Achs-Einheit	74
8.3.4	Mögliche Ausführung mit Roboter	75
8.3.5	Entscheidung	76
8.4	2D-Laser Messsystem	76
8.4.1	Grundlagen des Messsystems	76
8.4.2	Messung der Fuge	78

8.4.3	Auswertung der Messdaten.....	80
8.4.4	Auswahl des Messsystems.....	81
8.5	Konstruktion.....	82
8.5.1	Konstruktion Modulzentrierung	82
8.5.2	Konstruktion Handhabungseinrichtung	84
8.5.3	Konstruktion Aufnahme	85
8.5.4	Gesamtkonstruktion	88
8.6	Steuerung.....	90
8.7	Dosieranlage.....	92
9	Vergleich der manuellen und automatischen Arbeitsstation.....	94
9.1	Bewertung	94
9.2	Kostenvergleich.....	94
10	Ausblick	97
11	Literaturverzeichnis	99
	Eidesstattliche Erklärung.....	100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zusammenfassung der Eignungsprüfung (DIN_EN_61215:1995, 1996, S. 6)	6
Tabelle 2 Größen von Laminaten	20
Tabelle 3 Ausschnitt Materialspezifikation Glas (siehe Anhang)	23
Tabelle 4 Geometrieabweichungen Fuge	26
Tabelle 5 Datenausschnitt Terostat MS 935 (siehe Anhang)	28
Tabelle 6 Ablaufzeiten Klebestation.....	29
Tabelle 7 Spezielle Anforderungen	31
Tabelle 8 Allgemeine Anforderungen	31
Tabelle 9 Elementfarben.....	39
Tabelle 10 Lösungsvarianten	46
Tabelle 11 Bewertungsergebnis.....	54
Tabelle 12 Draufsicht manuelle Arbeitsstation	65
Tabelle 13 Ablauf Verfugestation.....	71
Tabelle 14 Fördervolumen nach ermittelten Querschnitten	92
Tabelle 15 Vergleich der ausgearbeiteten Varianten.....	94
Tabelle 16 Anlagenkosten der Arbeitsstation.....	95
Tabelle 17 Variable Kosten des Verfugens	96

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Montagesystem Fixierung	4
Abbildung 2 PV-Modul	5
Abbildung 3 Schnitt durch Modul	5
Abbildung 4 Rahmenaufbau	7
Abbildung 5 Laminataufbau (Aufbau eines Photovoltaikmoduls)	8
Abbildung 6 Ablauf der Fertigungsanlage.....	9
Abbildung 7 Fertigungsschritte	10
Abbildung 8 Transporteinheit	12
Abbildung 9 Förderstrecke Rahmen/Modul	12
Abbildung 10 Klebeflächenabmessung	14
Abbildung 11 Elementanordnung Roboterbereich	15
Abbildung 12 Arbeitsbereich Roboter (Kawasaki, 2010, S. 6)	16
Abbildung 13 Rahmenzentrierung.....	17
Abbildung 14 Skizze Laminatzentrierung	18
Abbildung 15 Theoretische Fugendimension	21
Abbildung 16 Geometrie der Fuge	22
Abbildung 17 Abweichung des Glases	24
Abbildung 18 Ausbildung Kleberaupe	25
Abbildung 19 Ausbildung Kleberaupe Eckbereich	25
Abbildung 20 Anwendungsbeispiele 2D-Lasermesssystem (Keyence, 2008, S. 6).....	34
Abbildung 21 Vergussmasse überhöht	36
Abbildung 22 Blick Messsystem	38
Abbildung 23 Teilverfugung für Messsystem	38
Abbildung 24 Mögliche Kameraanordnung	40
Abbildung 25 Verfälschte Ansicht der Fuge	41

Abbildung 26 Arbeitsbereich Verfugeroboter	43
Abbildung 27 Abmessungen Förderstrecke.....	56
Abbildung 28 Modulabstand Förderband	57
Abbildung 29 Skizze manuelle Modulaufnahme.....	58
Abbildung 30 Manuelle Modulaufnahme	59
Abbildung 31 Datenauszug Schwenklager 8 40x40	61
Abbildung 32 Untergestell.....	62
Abbildung 33 Drehaufnahmerahmen.....	62
Abbildung 34 Schwenktisch (ein- und ausgefahren).....	63
Abbildung 35 Hubtisch	63
Abbildung 36 Manuelle Arbeitsstation (0° und 90° gedreht).....	64
Abbildung 37 Belastung der Schwenklager in Ausgangslage	66
Abbildung 38 Belastung des Schwenklagers 90° gedreht	67
Abbildung 39 Druckluftpistole	69
Abbildung 40 Dopag Dosieranlage und Auslassventil (siehe Anhang)	70
Abbildung 41 Anbringung Verfugeroboter	74
Abbildung 42 Ausführung 2-Achseinheit (Schlüter, 2010, S. 4).....	75
Abbildung 43 Verfugestation mit Roboter	76
Abbildung 44 Messprinzip (Keyence, 2010, S. 2).....	77
Abbildung 45 Aufbau 2D-Lasermesskopf (Keyence, 2008, S. 28)	78
Abbildung 46 Querschnitt zum Vermessen	78
Abbildung 47 Messergebnis bei Glas (Keyence, 2010, S. 9)	79
Abbildung 48 Auswertung von Messdaten (Keyence, 2008, S. 30).....	80
Abbildung 49 Messung einer Aluminiumnut	81
Abbildung 50 Modelle des 2D-Lasermesssystemes (Keyence, 2008, S. 4)	82
Abbildung 51 Modulzentrierung	83

Abbildung 52 Detail Anschlagsituation.....	83
Abbildung 53 Zwei-Achs-Einheit.....	84
Abbildung 54 Befestigung Achseinheit (Schlüter, 2010, S. 23).....	84
Abbildung 55 Unterkonstruktion Handhabungseinrichtung.....	85
Abbildung 56 Aufnahmeschlitten Y-Achse.....	85
Abbildung 57 Aufnahme 2D-Messkopf	86
Abbildung 58 Aufnahme 2D-Mess- und Dosierkopf	87
Abbildung 59 Gesamtaufnahme	88
Abbildung 60 Automatische Arbeitsstation.....	89
Abbildung 61 Wartungsposition Dosierkopf.....	89
Abbildung 62 Teilverfugter Querschnitt.....	91
Abbildung 63 Foto der Fertigungsanlage	97
Abbildung 64 Foto der manuellen Arbeitsstation.....	98

Anhangverzeichnis

Nachfolgende Anhänge in separatem Ordner:

Technisches Datenblatt Terostat MS 500 (Henkel 2010)

Technisches Datenblatt Terostat MS 935 (Henkel 2004)

Technisches Datenblatt Terostat MS 9306 (Henkel 2005)

Materialspezifikationen Solarglas (Solon 2010)

Angebote

Dopag Dosieranlage

Schlüter Zwei-Achseinheit

Keyence 2D-Lasermesssystem

Zeichnungssatz manuelle Arbeitsstation

Zeichnungssatz automatische Arbeitsstation

1 Einleitung

1.1 Motivation

Seit meinem Einstieg in die Arbeitswelt bin ich in der Photovoltaikbranche tätig, auch schon vorher habe ich mich sehr für die erneuerbaren Energien interessiert. Der Markt war und ist immer noch sehr stark von den länderspezifischen Förderungen abhängig. Dadurch gab es in der letzten Zeit auch große Schwankungen in der Entwicklung, trotzdem ist der Markt sehr stark gewachsen. Es werden auch weiterhin zweistellige Zuwachsraten erwartet, wobei aber der Konkurrenzdruck vor allem bei Standardprodukten stark zunimmt. Durch die weltweit extrem steigenden Produktionsmengen sind die Entstehungskosten für solarerzeugten Strom drastisch gesunken. Die Konkurrenzfähigkeit des solaren Stroms ist bzw. wird in wenigen Jahren (abhängig von örtlichen Einstrahlungen und Strompreisen) erreicht, wodurch die Abhängigkeit von den Förderungen fallen wird.

Momentan befindet sich gerade die Entwicklung eines neuen Produktes in der Endphase. Dieses soll sich in einem eher speziellen Markt der gebäudeintegrierten Photovoltaikinstallationen durchsetzen. Der Anklang in der Fachwelt ist relativ groß und daher soll auch ein möglichst baldiger Produktionsstart realisiert werden. Die Fertigung ist auch schon in großen Teilen konzipiert, da entsprechende Erfahrungen vorhanden sind. Ein neuer Fertigungsschritt soll jedoch integriert werden. Dieser wird in dieser Diplomarbeit ausgearbeitet.

Die Diplomarbeit wird in Zusammenarbeit mit der Firma Nocker Metallbau, bei der ich beschäftigt bin, ausgearbeitet. Durch das Engagement des Firmengründers hat sich ein sehr kompetentes Team zusammengefunden, das die Entwicklung des Produktes und die Markteinführung vorantreibt.

1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit sollen unterschiedliche Konzepte zum Verfügen erarbeitet werden, wobei die Ausgangsbedingungen genau betrachtet werden müssen. Die erarbeiteten Konzepte sollen in weiterer Folge bewertet und die bevorzugte Variante auskonstruiert werden.

Die erarbeitete Arbeitsstation soll in die Fertigungsanlage für die Photovoltaik (PV) - Module eingebunden werden. Unmittelbar nach der Verklebung der PV-Lamine soll die Vergussmasse in die Fuge eingebracht werden, um den Platzbedarf für die Fertigung gering zu halten. Nach dieser Arbeitsstation läuft das Produkt automatisch über mehrere Aushärtestationen zur Verpackung.

1.3 Aufbau der Arbeit

In der Einleitung wurde kurz auf den Photovoltaikmarkt und das Ziel der Arbeit eingegangen.

Im zweiten Abschnitt wird die Ausgangssituation beschrieben. Dabei wird auf das zu fertigende Endprodukt, die verwendeten Materialien und den geplanten sonstigen Fertigungsablauf eingegangen.

In der Aufgabenanalyse wird die Problematik für die Ausführung des Fertigungsprozesses in der Arbeitsstation erläutert.

Im vierten Abschnitt werden die Rechercheergebnisse beschrieben. Darauf aufbauend werden im nächsten Abschnitt mögliche Lösungsvarianten erarbeitet.

Anschließend erfolgt die Bewertung und Einschätzung der ausgearbeiteten Lösungsvarianten. Die daraus ermittelten Ausführungsvarianten für die Gestaltung der Arbeitsstation werden im Abschnitt sieben und acht der Arbeit noch weiter ausgeführt. Hierbei

wird im siebten Teil eine manuelle Arbeitsstation für das Verfugen ausgestaltet. Anschließend wird im nächsten Abschnitt noch eine automatische Arbeitsstation inklusive eines Messsystems weiterverfolgt. Darauf erfolgt noch ein Vergleich dieser erarbeiteten Lösungsvarianten.

Im letzten Abschnitt der Arbeit wird ein Ausblick auf die tatsächliche Umsetzung der Arbeitsstation gegeben. Auch die Gründe für die getroffene Auswahl werden angesprochen.

2 Ausgangssituation

2.1 Produktbeschreibung

Ein neu entwickeltes Montagesystem inklusive eines speziellen Modulrahmens ermöglicht eine einfache Montage von PV-Anlagen. Die Fixierung der Module an der Unterkonstruktion basiert auf dem T-Nutenprinzip, wodurch die Befestigung der einzelnen Module mittels Schrauben entfällt. Die Module werden auf die T-förmig ausgebildeten Unterkonstruktionsschienen aufgeschoben und durch Keilelemente fixiert. Dadurch ergibt sich eine genaue Positionierung der einzelnen Module zueinander. In der folgenden Abbildung wird das Befestigungsprinzip verdeutlicht.

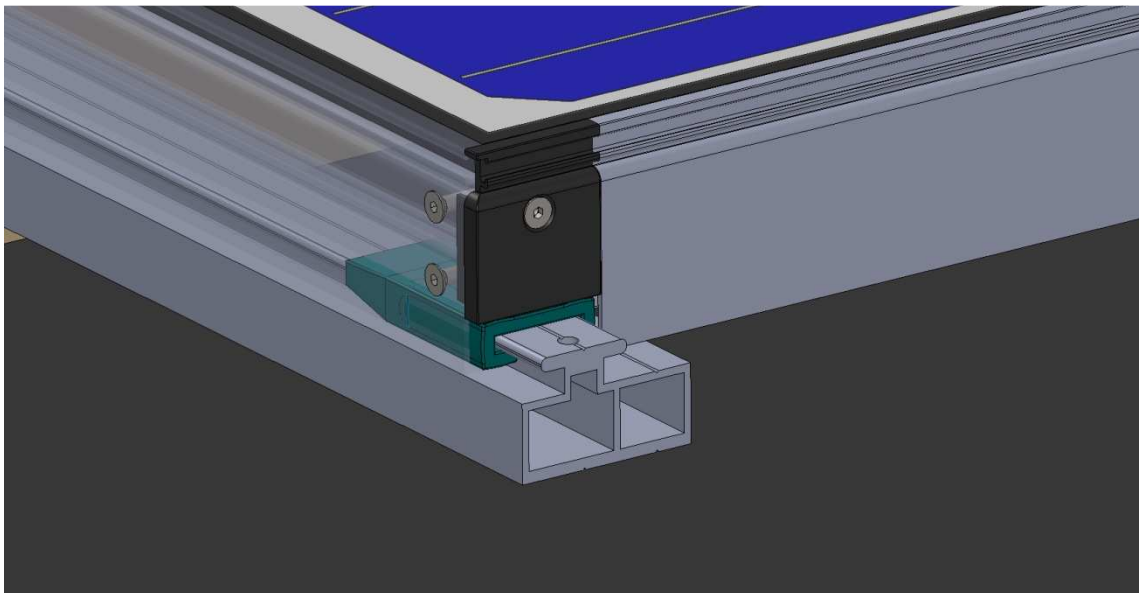


Abbildung 1 Montagesystem Fixierung

Die Module haben Abmessungen von ca. 1.000 mm x 1.700 mm und eine Höhe von 56 mm. Das Gewicht des fertigen Moduls beträgt 25 kg.

Bei der Konstruktion des Modulrahmens wurde besonders auf die Optik der Vorderseite geachtet. Der Rahmen umfasst daher nicht die Laminatkanten, wie bei den meist verbreiteten Konstruktionen, sondern schließt bündig mit der Laminatvorderseite ab.

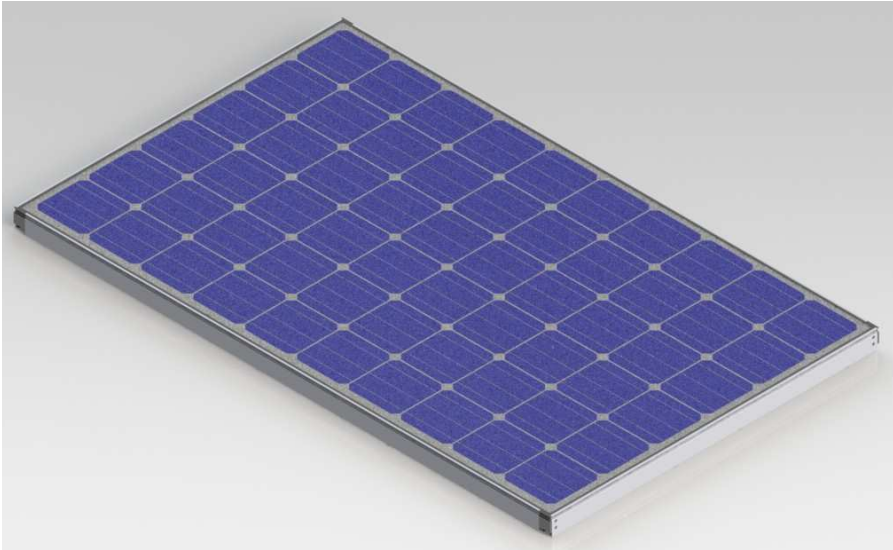


Abbildung 2 PV-Modul

Das Laminat wird durch einen Klebstoff im Modulrahmen fixiert. Durch diese Verklebung wird die mechanische Festigkeit des Modules erreicht. Um die Fertigungstoleranzen der Lamine und Rahmen ausgleichen zu können, ist eine umlaufende Fuge vorgesehen. Diese muss mit Vergussmasse ausgefüllt werden. Erst dadurch kann eine plane Modulvorderseite erreicht werden. Diese ist für die Optik, aber auch für den Ablauf von Wasser und Schmutz wichtig. In der folgenden Abbildung wird ein Schnitt durch das Modul gezeigt.

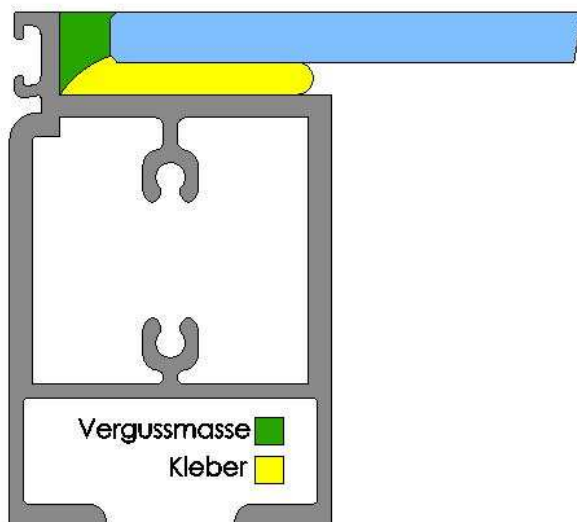


Abbildung 3 Schnitt durch Modul

2.2 Relevante Produktkomponenten

2.2.1 Materialanforderungen

Bei der Materialauswahl muss vor allem auf die Anforderungen der PV-Industrie geachtet werden. PV-Module sollen eine sehr lange Zeit (über 25 Jahre) den Umgebungseinflüssen standhalten. Besondere Anforderungen ergeben sich aus

- der UV-Strahlung,
- den häufigen Temperaturwechseln und
- den Feuchtigkeitseinflüssen.

Diese Einflüsse werden auch bei der Zertifizierung von PV-Modulen geprüft, welche nach der Norm DIN EN 61215:1995 „Terrestrische Photovoltaik-(PV)Module mit Silizium-Solarzellen, Bauarteignung und Bauartzulassung“ erfolgt. In folgender Tabelle sind die Prüfungen aufgezeigt.

Prüfung	Name	Prüfbedingungen
10.1	Sichtprüfung	detaillierte Liste für die Sichtprüfung siehe 10.1.2
10.2	Leistung bei Standard-Prüfbedingungen (STC)	Zellentemperatur: 25 °C Bestrahlungsstärke: 1000 W · m ⁻² , Spektralverteilung entsprechend Sonnenreferenzspektrum nach IEC 904-3
10.3	Isolationsprüfung	1000 V Gleichspannung + doppelte Leerlaufspannung des Systems bei Standard-Prüfbedingungen (STC) für 1 min Isolationswiderstand nicht kleiner als 50 MW bei 500 V Gleichspannung
10.4	Messung der Temperaturkoeffizienten	Details siehe 10.4
10.5	Messung der NOCT	solare Gesamtbestrahlungsstärke: 800 W · m ⁻² Umgebungstemperatur: 20 °C Windgeschwindigkeit: 1 m · s ⁻¹
10.6	Leistung bei NOCT	Zellentemperatur: NOCT Bestrahlungsstärke: 800 W · m ⁻² , Spektralverteilung entsprechend Referenzsonnenspektrum nach IEC 904-3
10.7	Leistung bei niedriger Bestrahlungsstärke	Zellentemperatur: 25 °C Bestrahlungsstärke: 200 W · m ⁻² , Spektralverteilung entsprechend Referenzsonnenspektrum nach IEC 904-3
10.8	Dauerprüfung unter Freilandbedingungen	solare Einstrahlung: 60 kWh · m ⁻²
10.9	Hot-Spot-Dauerprüfung	fünf einstündige Dauerprüfungen bei mit einer Bestrahlungsstärke von 1000 W · m ⁻² unter ungünstigsten Hot-Spot-Bedingungen
10.10	UV-Prüfung	in Vorbereitung
10.11	Temperaturwechselprüfung	50 und 200 Zyklen von - 40 °C bis + 85 °C
10.12	Feuchte-Frost-Prüfung	10 Zyklen von + 85 °C, 85 % relativer Luftfeuchte bis - 40 °C
10.13	Feuchte-Wärme-Prüfung	1000 h bei + 85 °C, 85 % relativer Luftfeuchte
10.14	Mechanische Widerstandsfähigkeit der Anschlüsse	wie in IEC 68-2-21
10.15	Verwindungsprüfung	Auslenkungs-/Verbiegungswinkel: 1,2°
10.16	Mechanische Belastungsprüfung	zwei Zyklen gleichmäßiger Belastung mit 2400 Pa, nacheinander für 1 h auf die Vorder- und die Rückfläche aufgebracht
10.17	Hagelprüfung	Eiskugel von 25 mm Durchmesser mit 23,0 m · s ⁻¹ , auf 11 Aufschlagstellen gerichtet

Tabelle 1 Zusammenfassung der Eignungsprüfung (DIN_EN_61215:1995, 1996, S. 6)

Es finden hierbei Prüfungen der elektrischen Parameter der Module in unterschiedlichen Formen statt. Bei der Auswahl der eingesetzten Materialien muss aber besonders auf die Temperaturwechsel-, Feuchte-Frost- und Feuchte-Wärme-Prüfungen (Prüfung 10.11 bis 10.13) geachtet werden. Dies gilt besonders für die eingesetzten Materialien des Laminataufbaus aber auch für eventuell eingesetzte Kunst- und Klebstoffe zur Rahmung.

2.2.2 Rahmen

Der Rahmen besteht aus einem Aluminiumprofil und den Abdeckkappen. Diese Teile werden miteinander verschraubt.

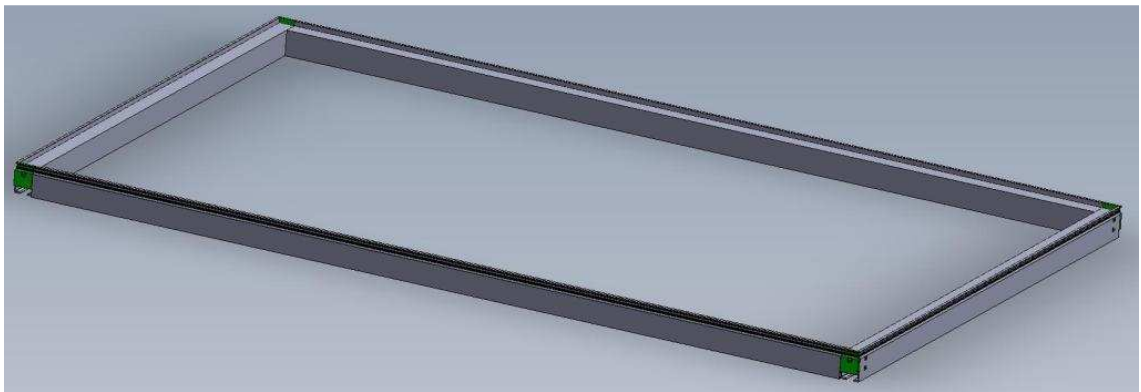


Abbildung 4 Rahmenaufbau

Die Form des Aluminiumprofils ist speziell auf diesen Anwendungsfall ausgelegt. Zum Einsatz kommt die Legierung ENAW6060 T66, die für solche Anwendungsfälle am besten geeignet ist. Das Profil wird noch eloxiert, um eine bessere Widerstandsfähigkeit zu erreichen.

Die Abdeckkappen sind als Spritzgussteile ausgeführt. Sie dienen zum Verschließen der Hohlkammer des Aluminiumprofils. Die obere Kante bildet den umlaufenden Steg aus, der für das Verfugen erforderlich ist. Dieses Bauteil übernimmt keine statischen Aufgaben und der Einfluss der UV-Strahlung ist durch die schmale Stegoberfläche begrenzt. Verwendet wird hierfür der Kunststoff PA GK20 UV Stabilisiert.

Die eingesetzten Schrauben sind aus Niro A2, um elektrochemische Korrosion zu vermeiden.

2.2.3 Laminat

Ein Laminat ist ein Verbund aus mehreren Schichten. An der Rückseite ist eine Anschlussdose zur Stromabnahme angebracht. Der Schichtaufbau besteht aus:

- Glas
- Schmelz-Folie
- Siliziumzelle
- Schmelz-Folie
- Rückseitenfolie

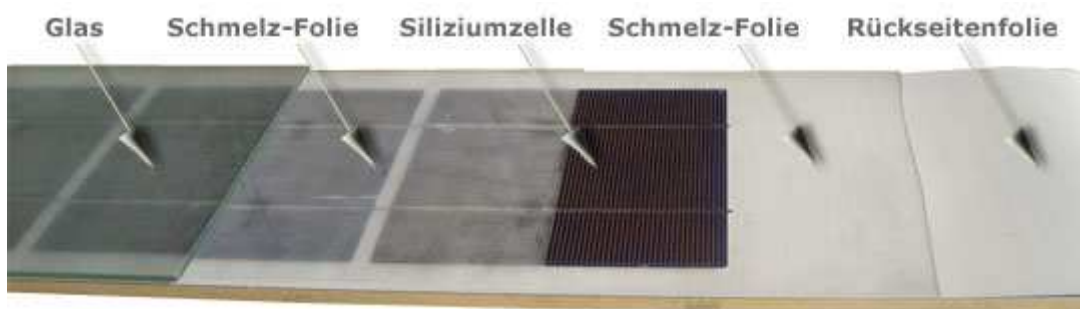


Abbildung 5 Laminataufbau (Aufbau eines Photovoltaikmoduls)

Für die Verklebung von Laminaten muss die Materialpaarung von Rückseitenfolie und Klebstoff aufeinander abgestimmt werden. Die Freigaben der Materialpaarungen erfolgten nach Prüfung (Klebe- und Hafttest) durch den Klebstoffhersteller.

2.2.4 Klebstoff

Die Klebstoffe wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Henkel ausgewählt. Es wird ein ein-komponentiger Heißklebstoff Tersostat MS 500 eingesetzt. Das hohe Haltevermögen direkt nach dem Auftragen ermöglicht ein sehr kurzes Andrücken des Laminates und eine gleich anschließende Verfübung. Aufgrund der relativ schnellen Durchhärtung kann das verklebte Modul nach Durchlauf der Fertigungsanlage verpackt werden. Die-

ser Klebstoff bildet zudem eine elastische Klebestelle aus, um die, bei Temperaturschwankungen auftretenden, unterschiedlichen Längenausdehnungen des Aluminiumrahmens und des Laminates aufzunehmen.

2.2.5 Vergussmasse

Je nach Verarbeitungsvorgang können als Vergussmasse unterschiedliche Dichtstoffe eingesetzt werden. Um eine Verträglichkeit mit dem eingesetzten Klebstoff zu gewährleisten, wurden Dichtstoffe auf Basis eines MS-Polymers eingesetzt. Es werden hier die elastischen Ein-Komponenten-Dichtstoffe Terostat MS 935 oder MS 9306 vorgeschlagen. Sie besitzen eine unterschiedliche Konsistenz (pastös oder flüssig, selbstverlaufend). Für eine beschleunigte Aushärtung können beide Stoffe auch als Zwei-Komponenten-Material verwendet werden.

2.3 Fertigungsablauf

Die meisten Arbeitsschritte in der Fertigung des PV-Modules sind schon grob definiert und in die ausgewählte Halle eingepasst. Hier eine kurze Zusammenfassung des Fertigungsablaufes und der Arbeitsschritte.

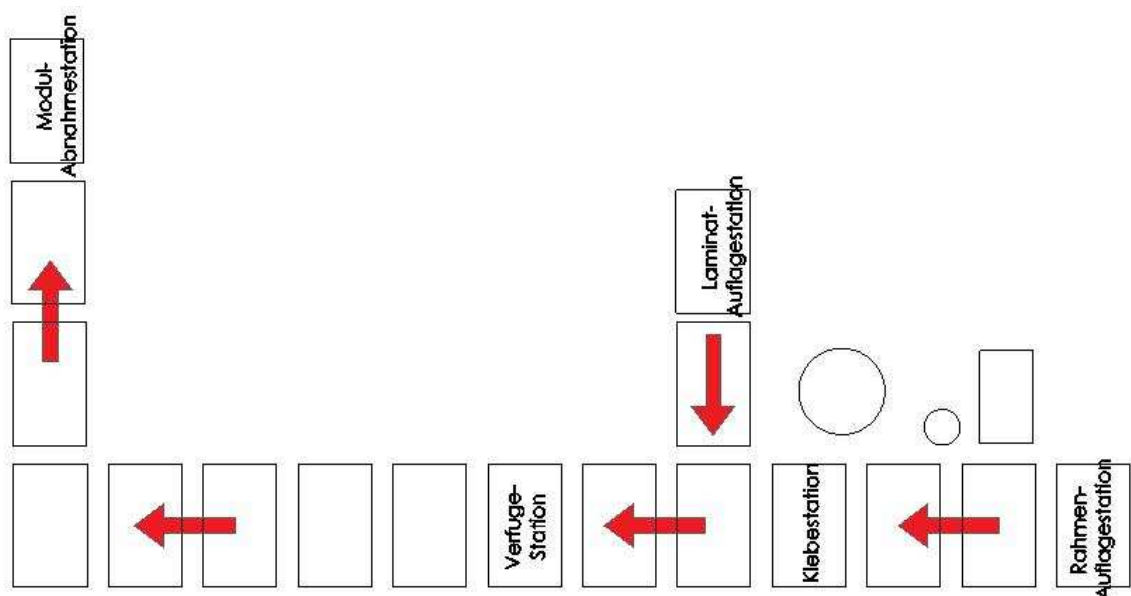


Abbildung 6 Ablauf der Fertigungsanlage

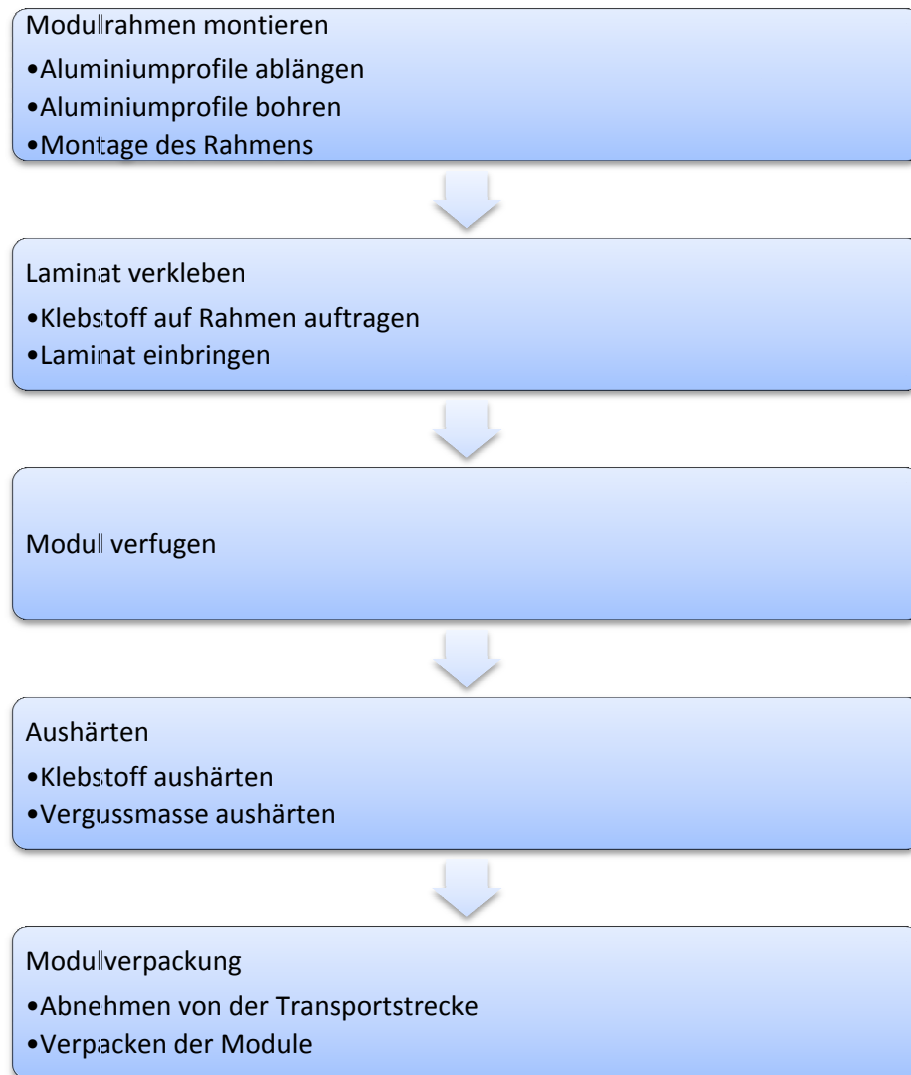


Abbildung 7 Fertigungsschritte

Im ersten Schritt wird der Modulrahmen vorbereitet. Dafür werden die zugelieferten speziellen Aluminiumprofile abgelängt, gebohrt und zusammengeschrubt. Dies erfolgt an manuellen Arbeitsplätzen mit Unterstützung durch entsprechende Vorrichtungen.

Der vormontierte Rahmen wird auf ein automatisches Fördersystem gelegt. Transportbänder bringen den Rahmen zur Klebestation. Über eine zweite Förderstrecke werden die Lamine ebenfalls zur Klebestation transportiert und ausgerichtet.

An der Klebestation wird das Laminat in den Rahmen verklebt. Diese Arbeitsstation wird in Punkt 2.5 beschrieben.

Als nächster Arbeitsschritt muss die umlaufende Fuge am Modul ausgefüllt werden. Hierfür sollen mögliche Varianten in dieser Arbeit gefunden werden. Das Modul kann von den Transportbändern entnommen werden, soll aber nach dem Verfugen wieder an dieser Position abgesetzt werden.

Nun folgt noch eine längere Förderstrecke, um eine entsprechende Aushärtung des Klebstoffes und der Vergussmasse zu erreichen. Diese Strecke wird je nach Bedarf noch umbaut und entsprechend geheizt. Die Abnahme der Module von den Transportbändern und die Verpackung erfolgt händisch.

Die Arbeitsschritte sollen möglichst alle in der Taktzeit durchgeführt werden. Dies gilt für alle Stationen, die an der automatischen Förderstrecke angebunden sind. Abbildung 6 zeigt eine grobe Übersicht der Arbeitsstationen in der Fertigungsanlage. Diese werden auch durch das automatische Transportsystem verbunden.

2.4 Förderstrecke

Die Förderstrecke besteht aus hintereinander angeordneten Transportstrecken. Eingesetzt werden hierfür Zahnriemenförderer. Es werden zwei Riemenbänder nebeneinander angeordnet, auf denen das Produkt ohne zusätzliche Werkstückträger transportiert werden kann.

Jede einzelne Transportstrecke wird aus zwei Zahnriemenbändern zusammengesetzt, die auf einer Unterkonstruktion befestigt sind. Beide Bänder sind durch eine Welle miteinander verbunden. Diese wird über einen Zahnriemen durch einen Getriebemotor angetrieben.



Abbildung 8 Transporteinheit

2.4.1 Förderstrecke Rahmen/Modul

Die Förderstrecke für die Rahmen und Module besteht aus mehreren hintereinander angeordneten Transportstrecken. Nach der Einheit 4 (siehe Abbildung) wird das Modul im 90° Winkel weitertransportiert. Alle weiteren Einheiten sind aufgrund der geringeren Breite der Module schmaler ausgeführt. Zum Umsetzen wird die Einheit 5, die mit zusätzlichen Rollenleisten verlängert wurde, leicht angehoben.

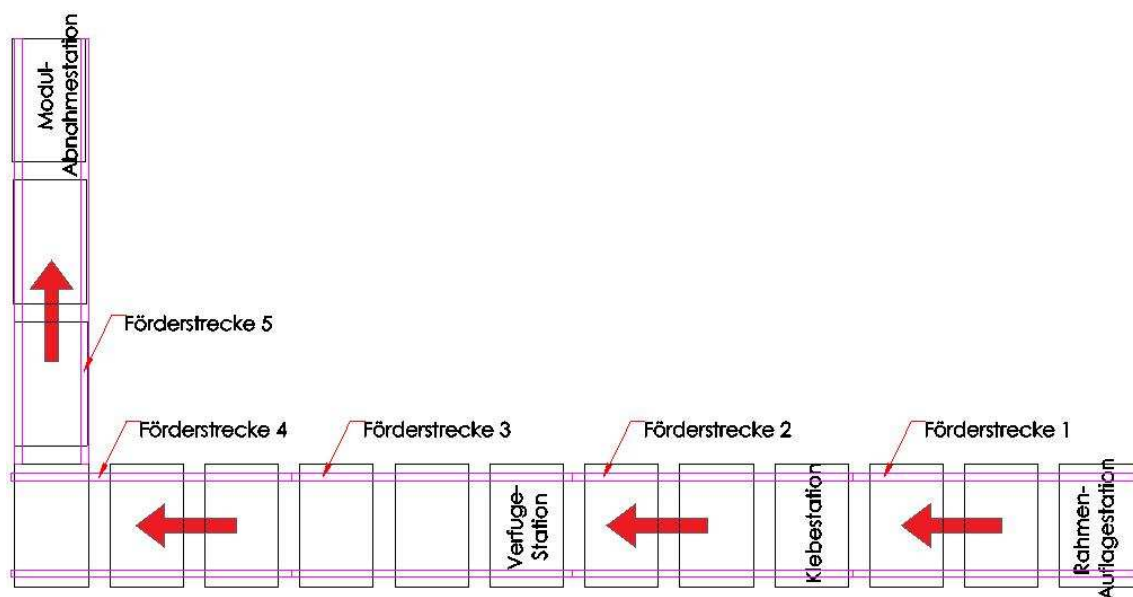


Abbildung 9 Förderstrecke Rahmen/Modul

2.4.2 Förderstrecke Laminat

Die Laminatförderstrecke besteht nur aus einer Einheit. Diese ist oberhalb der Förderstrecke für die Rahmen und Module angeordnet. Die Lamine werden am Ende in die Positioniereinheit für die Lamine übergeben. Von dort werden die Lamine abgenommen und in den Rahmen eingelegt.

2.5 Klebestation

Nun wird noch genauer auf die Verklebung der Lamine eingegangen. Für die Dimensionen der Fuge ist dies der wichtigste Arbeitsschritt. Es werden die relevanten Grundlagen, der geplante Ablauf und die einzelnen Komponenten dieser Arbeitsstation erläutert, damit die Voraussetzungen für das Verfugen analysiert werden können.

2.5.1 Ablauf

An der Klebestation wird der Rahmen vom Transportband angehoben und positioniert. Gleichzeitig wird auch das Laminat positioniert. Der Klebevorgang wird durch einen Roboter ausgeführt, der den Klebstoff auf den Rahmen aufträgt. Nach einem Greiferwechsel wird das Laminat an der Glasseite durch Sauger von der Förderstrecke entnommen. Dieses wird in die Kleberaupe auf den Rahmen eingedrückt. Zum Abschluss dieses Vorgangs wird der Rahmen auf die Förderbänder abgesenkt und weitertransportiert.

2.5.2 Dosieranlage

Um eine Pumpe auswählen zu können, muss zuerst die benötigte Förderleistung bestimmt werden. Hierfür wurde die Querschnittfläche der Kleberaupe, deren Länge und der geplanten Menge an Modulen bestimmt.

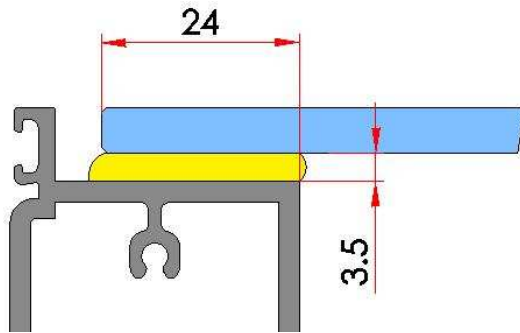


Abbildung 10 Klebeflächenabmessung

Für die Verklebung der Module wird daraus eine Klebermenge von 9,3 kg/h benötigt. Die Schmelzleistung der Dosieranlage muss entsprechend gewählt werden.

In Zusammenarbeit mit dem Klebstoffhersteller wurde eine Heißklebeanlage von der Firma Robatech ausgewählt. Der Fassschmelzer RMC 20/ZP3/RP erreicht eine Schmelzleistung von 11 kg/h aus den üblichen 25 kg Kleber-Fässern. Mit dieser Pumpe werden die ersten Fertigungstests durchgeführt. Für die Serienfertigung ist eine Pumpe mit einer größeren Fassaufnahme vorgesehen. Zur Förderung des Materials wird eine Zahnradpumpe verwendet. Durch die stetige Abgrenzung des Fördervolumens kann mit diesem Pumpentyp eine sehr genaue Dosierung erreicht werden (Vetter, 2.Auflage - 2001, S. 19 f). Zudem kann durch die kontinuierliche Förderung eine gleichmäßig aufgetragene Kleberaupe erreicht werden. Die Klebstoffauftragsmenge kann der Pumpe durch entsprechende Signale der Steuerung genau angepasst werden.

2.5.3 Roboter

An der Klebestation müssen komplexe Handlingsaufgaben durchgeführt werden. Diese können am besten durch den Einsatz eines 6-Achsen-Roboters abgedeckt werden. Durch die geplante Anordnung der einzelnen Elemente der Arbeitsstation ergibt sich ein benötigter Radius des Arbeitsbereichs von ca. 2800 mm.

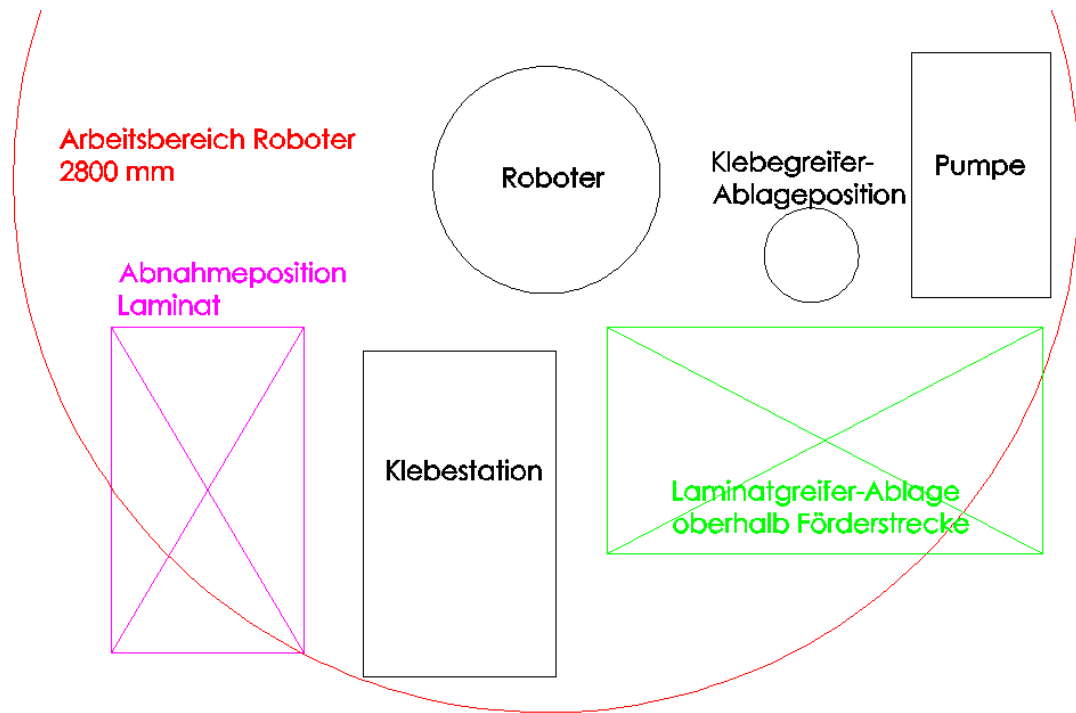


Abbildung 11 Elementeanordnung Roboterbereich

Die benötigte Nutzlast für den Roboter setzt sich aus der Masse des Laminates und des Laminatgreifers inklusive des Schnellwechselsystems und der Vakuumerzeugung zusammen. Hierfür wurden Werte von 20 kg für das Laminat und ca. 40 kg für den Greifer angenommen. Mit entsprechenden Sicherheiten soll die maximale Nutzlast des Roboters mindestens 100 kg betragen.

Da unter den Mitarbeitern schon Erfahrungen mit Industrierobotern von Kawasaki vorhanden sind und diese auch selbstständig programmiert werden können, fiel die Entscheidung auf ein Produkt dieser Firma. Um die Voraussetzungen erfüllen zu können, wurde der Roboter ZX130L ausgewählt. Mit einer Nutzlast von 130 kg und dem folgend abgebildeten Arbeitsbereich ist er für die geforderten Aufgaben geeignet.

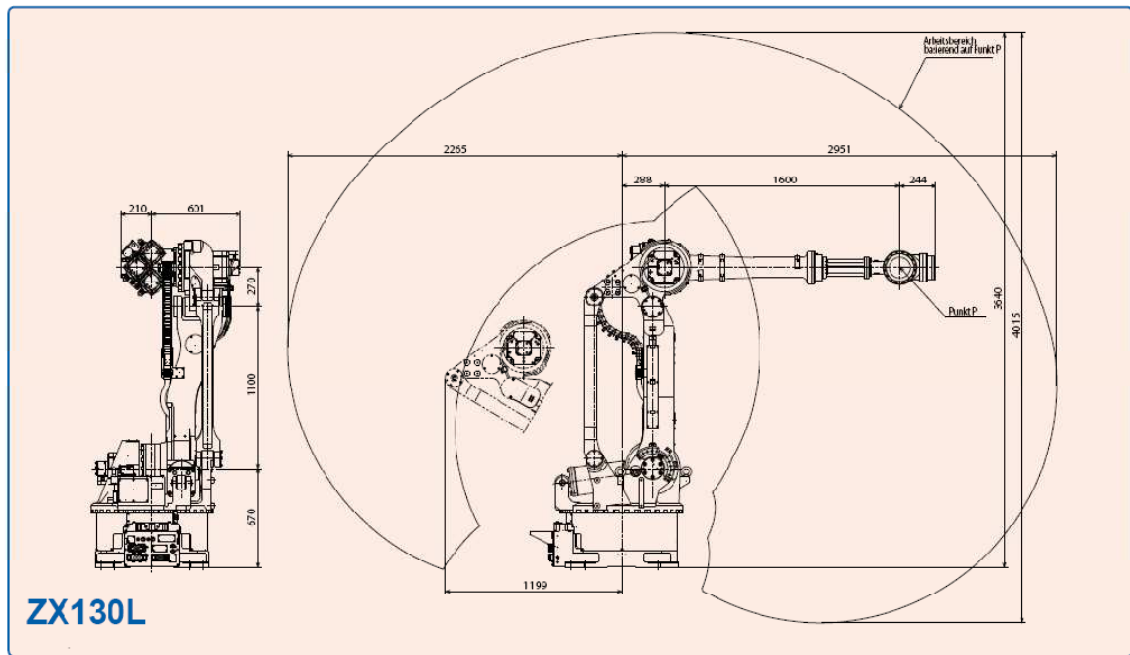


Abbildung 12 Arbeitsbereich Roboter (Kawasaki, 2010, S. 6)

2.5.4 Vorbehandlung

Für eine optimale Verklebung der Teile müssen die Klebeflächen entsprechend den Herstellerangaben vorbehandelt werden. Um dies gewährleisten zu können, wurden Klebetests mit unterschiedlichen Vorbehandlungen der Materialien durchgeführt. Nach Auswertung der Langzeittests wurden folgende Vorgaben erarbeitet:

a) Rahmen:

Die eloxierte Aluminiumoberfläche muss sauber, fettfrei und trocken sein. Dies wird durch eine entsprechende händische Reinigung des Rahmens vor dem Einlegen in die Anlage bewerkstelligt und erfolgt mit dem vorgeschlagenen Terostatreiniger MS 450.

b) Laminat:

Durch die schlechteren Hafteigenschaften des verwendeten Heißklebers auf der Laminatrückseite ist eine zusätzliche Vorbehandlung der Klebefläche erforderlich. In der Photovoltaikbranche werden hierfür meist elektrische Verfahren zum Aufräumen der Oberfläche der Rückseitenabschlussfolie verwendet. Am Verbreitetsten sind die Corona-

und die wesentlich teurere Plasmabehandlung. Nach dem Klebetest durch den Hersteller ist eine Coronabehandlung ausreichend.

Durch die Coronabehandlung wird die Oberfläche des Teiles durch ein elektrochemisches Verfahren verändert, wodurch eine bessere Benetzbarkeit geschaffen wird. Dadurch wird eine höhere Haftung des Klebstoffs an der Rückseitenfolie (meist eine Folie auf Polyethylenbasis) erreicht. (Coronabehandlung, 2002)

2.5.5 Positionierung Rahmen

Zur Positionierung wird der Rahmen von den Förderbändern abgehoben. Durch Pneumatikzylinder wird der Rahmen gegen fixe Anschläge an einer Längs- und Querseite gedrückt und ausgerichtet. Dadurch kann die Rechtwinkligkeit des Rahmens zusätzlich verbessert werden.

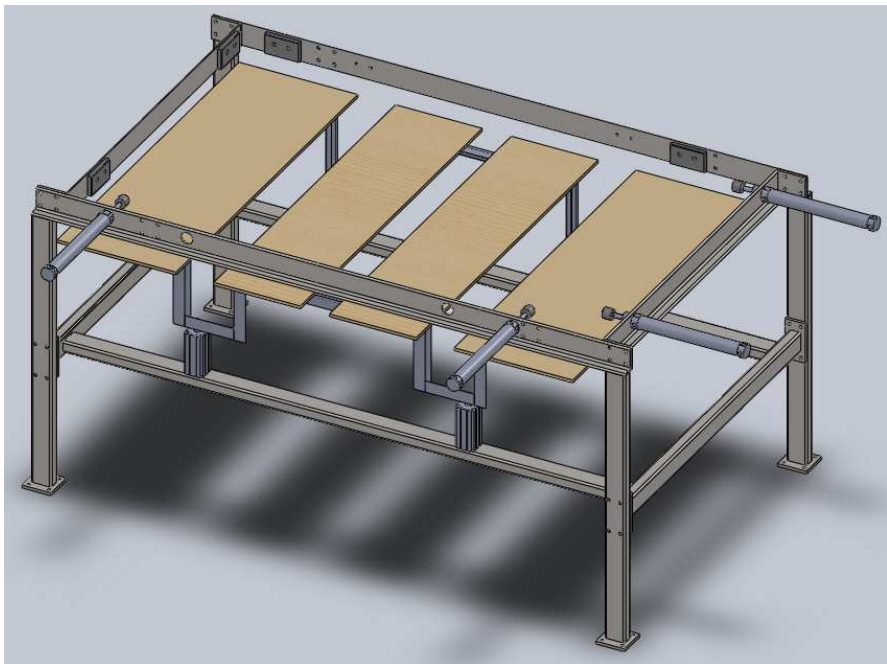


Abbildung 13 Rahmenzentrierung

2.5.6 Positionierung Laminat

Die Ausrichtung des Laminats erfolgt ähnlich der Positionierung des Rahmens. Besonders muss aber auf die Rückseitenabschlussfolie geachtet werden. Es dürfen darauf keine Kratzer durch das Verschieben entstehen. Das Laminat wird, wie in folgender Abbil-

ung angedeutet, positioniert. Damit sollen die Auswirkungen der Maßabweichungen des Laminats gering gehalten werden.

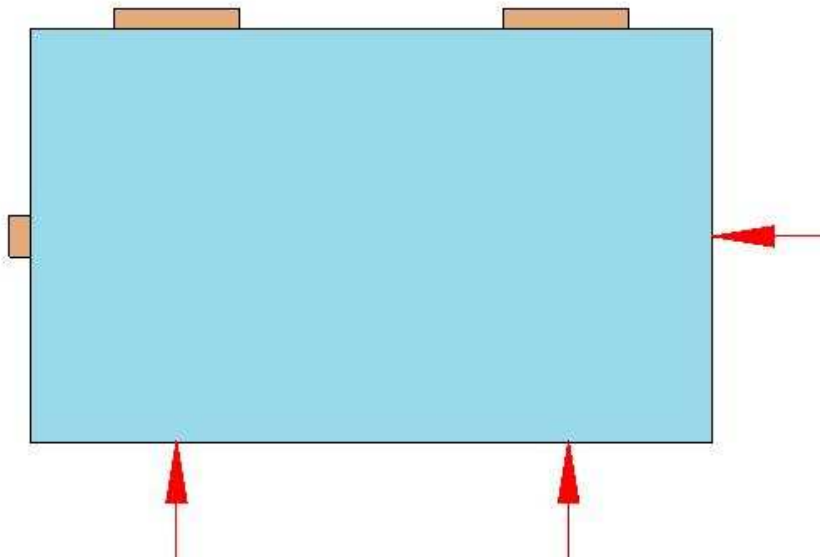


Abbildung 14 Skizze Laminatzentrierung

2.5.7 Klebstoffauftrag

Nach der Positionierung des Rahmens wird der Klebstoff aufgetragen. Dafür fährt der Roboter mit einem speziellen Greifer, auf dem der Auftragskopf der Dosieranlage befestigt ist, den Rahmen ab. Um die geforderte gleichmäßige Kleberaupe ausbilden zu können, sind noch genaue Abstimmungen der Pumpenförderleistung und der Vorschubgeschwindigkeit des Roboters erforderlich. Besondere Schwierigkeiten bereiten die Ecken des Rahmens und der Startpunkt des Auftrags. Dies kann erst durch Tests angepasst werden.

2.5.8 Lamineinbringung

Das Laminat wird durch einen eigenen Robotergreifer aufgenommen. Dieser saugt es an der Glasseite an und bringt es über den Rahmen. Anschließend wird das Laminat durch den Roboter in die Kleberaupe im Rahmen gepresst. Der Greifer ist am Umfang des Laminats mit einem Anschlag versehen. Dieser ermöglicht eine entsprechende Druckausübung auf den Rand und somit ein Pressen der Kleberaupe. Der Anschlag steht noch weiter über, um ein bündiges Einpressen mit dem Rahmensteg zu ermöglichen. Der

Laminatgreifer ist genauso wie der Klebgreifer mit dem Schnellwechselsystem ausgestattet.

2.6 Steuerung

Die Steuerung der gesamten Anlage erfolgt durch eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) von Siemens des Types Simatic S7-200. Durch sie werden die einzelnen Transportstrecken und deren Sensorsignale verarbeitet und gesteuert.

Die Aktoren und Sensoren der Klebestation werden an die Robotersteuerung angeschlossen. Über diese wird der gesamte Ablauf dieser Station kontrolliert. Zusätzlich zum Roboter müssen die Positioniereinheiten und die Pumpe gesteuert werden. Dafür sind entsprechende Steuerkarten vorhanden.

Benötigte Sensoren und Aktoren für die Verfugestation können über die vorhandene SPS gesteuert werden.

3 Aufgabenanalyse

3.1 Abmessungen

Es sollen möglichst viele unterschiedliche Lamine im entwickelten Rahmen aufgenommen werden können. Die Laminatgröße wurde aber auf maximal 1700 mm x 1000 mm begrenzt. Diese Abmessungen wurden auf die am häufigsten verbreiteten Module mit 60 Siliziumzellen gewählt. Bei diesen Modulen ergibt sich eine Leistung von ca. 190 Wp¹ bis 250 Wp. Aufgrund der verwendeten Solarzellen (156 mm x 156 mm) und den erforderlichen Sicherheitsabständen der elektrisch leitenden Teile zueinander und zum Rand des Laminates kann eine gewisse Größe nicht unterschritten werden. Die Größen schwanken bei den Herstellern zwischen einer Breite von 970 mm bis 1000 mm und einer Länge von 1630 mm bis 1680 mm. In der folgenden Tabelle sind einige Hersteller mit ihren angebotenen Laminatgrößen aufgelistet.

Laminat-Größe Breite x Länge x Dicke [mm]	Laminat-Hersteller	Homepage	Leistung [Wp]
970 x 1630 x 5,5	SolarWood Technologies S.A	www.solarwood.lu	215 - 235
984 x 1674 x 5	SOLARWATT	www.solarwatt.de	210 - 240
980 x 1650 x 5	ITS München GmbH	www.innotechsolar.com	190 - 230
981 x 1642 x 5,5	Solar Cells Hellas	www.schellas.gr	200 - 230
984 x 1674 x 5	Sunways AG Photovoltaic Technology	www.sunways.eu	225 - 235
990 x 1655 x 5	Solsonica	www.solsonica.com	210 - 235
997 x 1657 x 5	MX Group S.p.A.	www.mxgroup.it	210 - 240

Tabelle 2 Größen von Laminaten

Für alle weiteren Betrachtungen wird von der maximalen Laminatgröße 1000 mm x 1700 mm ausgegangen. Durch das Laminat wird die innere Abgrenzung der Fuge gebildet.

¹ Wattpeak (Wp): ist die gemessene Leistung eines PV-Modules unter Standardtestbedingung (STC) bei einer Zelltemperatur von 25°C und einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m²

Die Fugendicke wird aufgrund der Elastizität der Vergussmasse berechnet. Die Verbindungsstelle muss die unterschiedlichen temperaturabhängigen Längenausdehnungen des Laminates und des Rahmens aufnehmen. Die minimale Fugendicke wird durch die maximal zulässige Scherwirkung in der Klebestelle berechnet. Daraus ergibt sich ein Wert von 3,2 mm. Es wurde eine theoretische Fugendicke von 5,5 mm gewählt. Der Rahmen wird entsprechend den Laminatabmessungen so zugeschnitten, dass dieses Maß eingehalten wird.

Die Höhe der Fuge ist durch die Steghöhe des Aluminiumprofils bestimmt. Damit auch die Klebestelle die erforderliche minimale Dicke erreicht, wurde diese mit 9 mm gewählt.

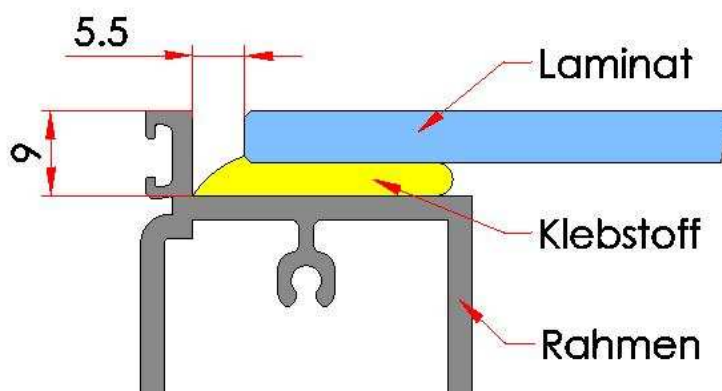


Abbildung 15 Theoretische Fugendimension

3.2 Geometrieausbildung

Damit der Spalt zwischen den einzelnen Teilen oberflächenbündig verfugt werden kann, muss die Vergussmassenmenge genau abgestimmt werden. Der auszufüllende Spalt wird durch drei Komponenten gebildet, die nun einzeln betrachtet werden.

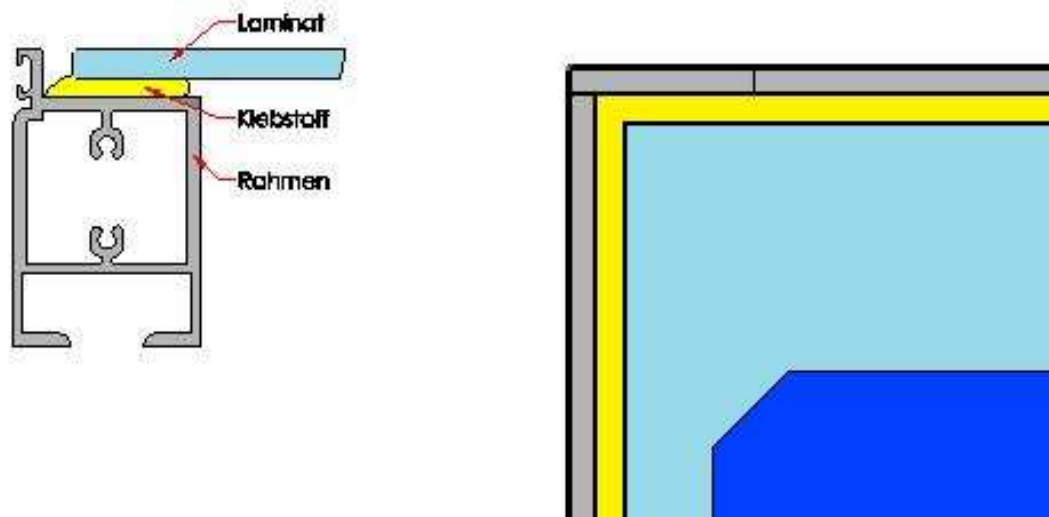


Abbildung 16 Geometrie der Fuge

3.2.1 Rahmen

Der Aluminiumrahmen wird aus den zugeschnittenen Profilen zusammengeschaubt. Der Zuschnitt erfolgt mit einer Doppelgehrungssäge. Mit dieser kann eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ mm erzielt werden. Die Bohrungen für die Verschraubung des Rahmens werden mit einer genau eingestellten Bohrvorrichtung gefertigt. Vor dem Auftragen des Klebstoffes werden die Rahmen in einer Spannvorrichtung auf zwei Seiten angepresst. Diese Ungenauigkeiten durch das Sägen und Bohren haben nur einen sehr geringen Einfluss auf die Ausbildung der Fuge. Toleranzen im Bereich von 0,1 bis 0,2 mm haben kaum eine Relevanz bei den Abmessungen des Rahmens.

3.2.2 Laminat

Die Außenmaße des Laminates werden durch die Glasabmessungen bestimmt. Bei den marktüblichen Rahmungssystemen können auch Gläser mit großen Längendifferenzen eingesetzt werden. Daher werden in der PV-Industrie eingesetzte Gläser nur gebrochen und nicht genau geschliffen. Dadurch ergeben sich große Toleranzen. Vor dem Verkleben wird das Laminat auf zwei Seiten ausgerichtet. Aus den Qualitätsbestimmungen für ein Solarglas ergeben sich nachfolgende Toleranzen. Diese sind aus der Materialspezi-

fikation von der SOLON SE für den Einkauf von ESG Struktur Glasscheiben entnommen.

1. Technische Daten

Material		weißes Ornamentglas mit Struktur, eisenoxidarm (< 200 ppm)	
Chemische Zusammensetzung		Konform DIN EN 572-1 Ausschluss: Ce (Cerium)	
Kanten		Trapez oder C-Kante	
Ecken		Gestoßen, Fase 0,5 - 1,5 mm [für Lamine]	
		Gestoßen, Fase 0,5 – 5,0 mm [für gerahmte Lamine]	
Lichttransmission $f \ 350 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1100 \text{ nm}$	Glasdicke < 3,2- mm	> 91,1 %	
	Glasdicke 3,2 mm	> 91,4 %	
	Glasdicke 4,0 mm	> 91,2 %	
Mechanische Festigkeit (Biegefestigkeit)		ESG > 120 N/mm ²	
Thermische Beständigkeit:		-45 °C bis +180 °C	
Toleranzen Grenzabmaße	Höhe und Breite:	≤ 1000 mm ≤ 2000 mm	± 1,0 mm ± 1,5 mm
	Nenn dickentoleranz	± 0,2 mm	
	Diagonale	± 3,0 mm	
Verwerfungen		generelle örtliche	< 3,0 mm / m < 0,3 mm / 300 mm
Stempelkennzeichnung		Form und Dimensionen lt. aktueller SOLON Glas- / Stempelzeichnung	
		Der Schriftzug <u>muss</u> lesbar sein! Kleine partielle Unterbrechungen der Schriftlinien sind zulässig.	

Tabelle 3 Ausschnitt Materialspezifikation Glas (siehe Anhang)

Da davon ausgegangen wird, dass auch andere Laminathersteller mit ähnlichen Glastoleranzen arbeiten, werden diese Daten verwendet. Dadurch ergibt sich bei der Modullänge von 1700 mm die Toleranz +/- 1,5 mm. Da das Laminat, wie in Punkt 2.5.6 angeführt, positioniert wird, kann die Fuge auf der schmalen Seite des Laminats um bis zu 3 mm verändert werden. Aufgrund der geringeren Abmessungen der Breite ist hier die Toleranz kleiner. Durch eine Abweichung des Glases in der Diagonale ergibt sich ungefähr die gleiche Veränderung. Die Auswirkungen der Glastoleranzen sind in der folgenden Skizze dargestellt.

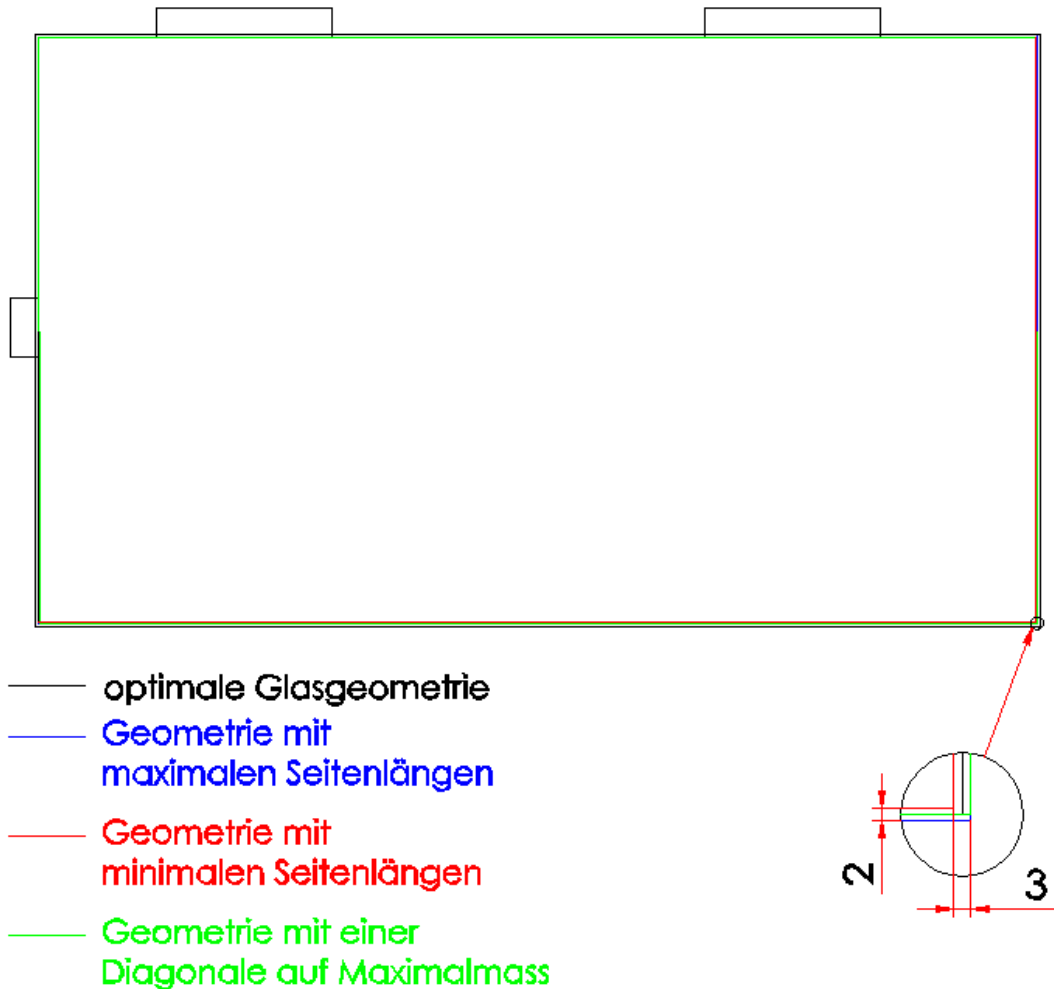


Abbildung 17 Abweichung des Glases

3.2.3 Klebstoff

Das Auftragen des Heißklebers erfolgt durch den Roboter. Die Klebstoffmenge muss möglichst genau eingehalten werden, da sonst die Tiefe der Fuge variiert. Abhängig von der Position der Klebedüse (Längsseite oder Eckbereich) werden unterschiedliche Mengen von der Pumpe gefördert. Es wird hierfür eine volumenabhängige Dosieranlage eingesetzt. Die Geometrie der vom Laminat zusammengepressten Klebstelle kann jedoch nicht bestimmt werden.

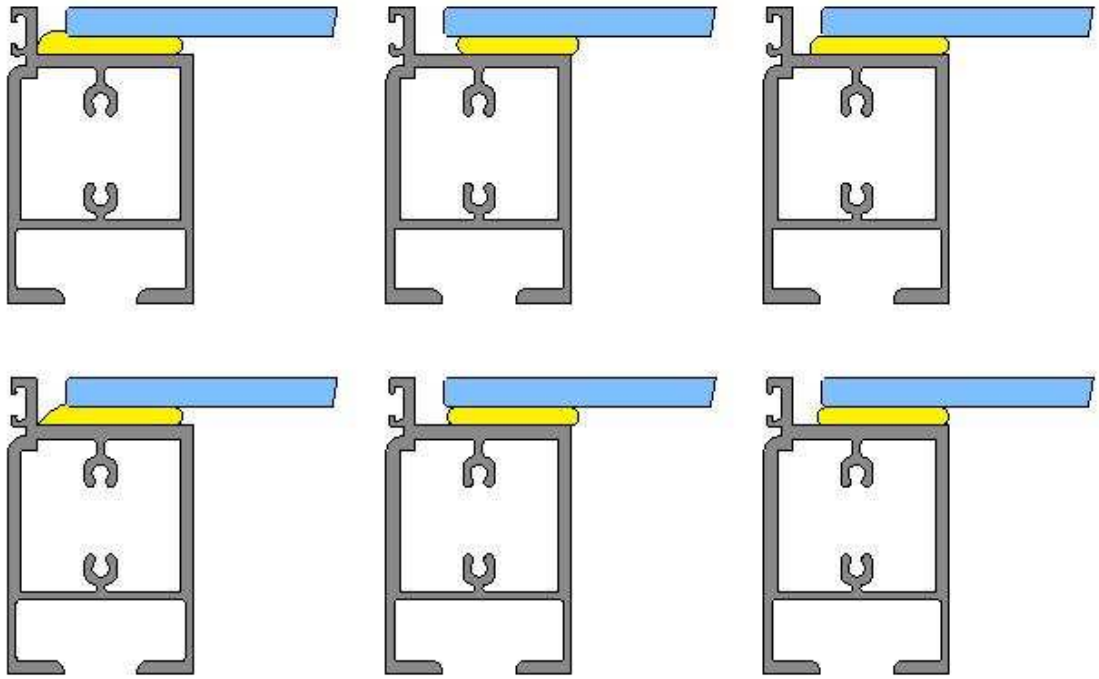


Abbildung 18 Ausbildung Kleberaupe



Abbildung 19 Ausbildung Kleberaupe Eckbereich

3.2.4 Positionierung

Das Laminat kann zum Rahmen an einer Seite genau positioniert werden. Auf den anderen Seiten wirken sich die Toleranzen der einzelnen Komponenten aus. Das oberflächenbündige Eindringen des Laminates in den Klebstoff kann durch Anschläge am Laminatgreifer des Roboters erreicht werden. Diese Anschläge stützen sich am oberen Rand des Rahmens ab.

3.2.5 Geometrieabweichungen

Die Geometrie der Fuge wird durch viele Einflüsse bestimmt. Daher ist es nicht möglich, eine fixe Vergussmassenmenge im Vorfeld zu bestimmen. In folgender Tabelle werden einige unterschiedliche Auswirkungen der Toleranzen dargestellt.

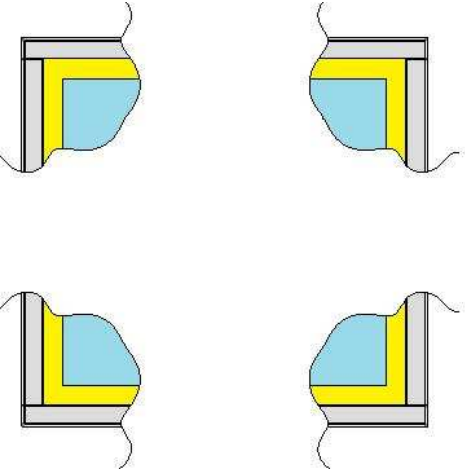
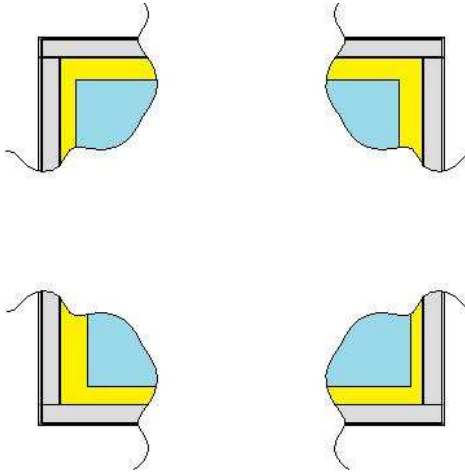
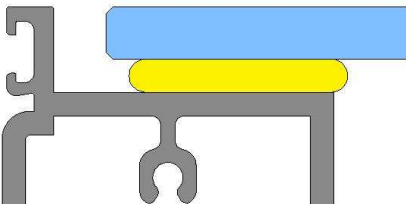
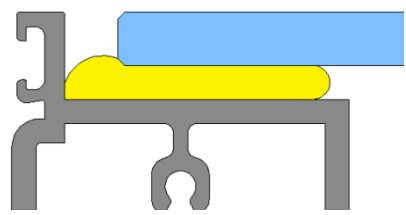
Rahmen / Laminat Paarungen	Idealfall: alle Maße genau eingehalten gleichmäßige Eckausbildung, gleichbleibende Fugenbreite	
	Laminat mit maximaler Diagonalentoleranz Eckausbildung variiert stark, Fugenbreite verändert sich ständig	
Klebstoffmenge	Zu wenig Klebstoff (zu verfugender Querschnitt 58,5 mm ²)	
	Zu viel Klebstoff und falsche Position (zu verfugender Querschnitt 30,8 mm ²)	

Tabelle 4 Geometrieabweichungen Fuge

3.3 Vergussmassenmenge

Die benötigte Menge kann nicht genau bestimmt werden. Zur Einschätzung kann aber ein durchschnittlicher Bedarf je Modul unter Optimalbedingungen ermittelt werden. Über mehrere Module sollte sich dieser Wert auch in der Praxis ergeben.

Das benötigte Volumen setzt sich somit aus dem Querschnitt und der mittleren Länge der Fuge zusammen.

$$l_F = (2 \times l_M + b_F) + (2 \times b_M + b_F)$$

$$l_F = (2 \times 1700 \text{ mm} + 5,5 \text{ mm}) + (2 \times 1000 \text{ mm} + 5,5 \text{ mm}) = 5411 \text{ mm}$$

l_F ... *mittlere Fugenlänge*

b_F ... *Fugenbreite*

l_M ... *Modullänge*

b_M ... *Modulbreite*

$$A_F = 46 \text{ mm}^2$$

A_F ... *Fugenquerschnitt (aus Zeichenprogramm)*

$$V_F = l_F \times A_F$$

$$V_F = 5411 \text{ mm} \times 46 \text{ mm}^2 = 248.906 \text{ mm}^3 \approx 250 \text{ ml}$$

V_F ... *Fugenvolumen*

Die meisten Dosieranlagenhersteller geben das mögliche Fördergewicht je Stunde an, daher muss dieses für die Auswahl ermittelt werden. Hierfür wird die Dichte der Vergussmasse aus dem entsprechenden Datenblatt Terostat MS 935 entnommen. Bei einer

Taktzeit von fünf Minuten (siehe Punkt 3.4.1) ergeben sich zwölf zu fertigende Module je Stunde.

Technische Daten

Farben:	weiß, grau, schwarz
Geruch:	geruchlos
Konsistenz:	pastös, thixotrop
Dichte:	ca. 1,4 g/cm ³
Härtungsart:	feuchtigkeitshärtend
Standfestigkeit:	in Fugen bis zu 15 mm (DIN-Profil)
Hautbildungszeit *:	10 - 20 Min
Härtungsgeschwindigkeit *:	ca. 3 mm/24 h
Shore-A-Härte (DIN 53505) *:	ca. 50
Zugfestigkeit (in Anlehnung an DIN 53504) *:	ca. 2,8 MPa
Bruchdehnung (in Anlehnung an DIN 53504) *:	ca. 230 %
Spannungswert (100 %)*: (in Anlehnung an DIN 53504)	ca. 1,5 MPa

Tabelle 5 Datenausschnitt Terostat MS 935 (siehe Anhang)

$$m_F = V_F \times \rho_F$$

$$m_F = 248,906 \text{ cm}^3 \times 1,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 348,5 \text{ g}$$

m_F ... Masse der Fuge

ρ_F ... Dichte Fugenmasse

$$\dot{m}_F = m_F \times n$$

$$\dot{m}_F = 348,5 \frac{\text{g}}{\text{Stk}} \times 12 \frac{\text{Stk}}{\text{h}} = 4182 \frac{\text{g}}{\text{h}} \approx 4,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

\dot{m}_F ... benötigte Förderleistung der Dosieranlage

n ... Anzahl der Module

3.4 Wirtschaftliche Gesichtspunkte

3.4.1 Durchsatz

Die auszulegende Arbeitsstation für das Verfugen muss sich in den Fertigungsablauf einbinden lassen. Daher müssen hierfür alle am automatischen Fördersystem vorzunehmenden Arbeitsschritte betrachtet werden.

Das Auflegen der vormontierten Rahmen und der Lamine, sowie das Abnehmen der fertigen Module kann in sehr kurzer Zeit (unter einer Minute) durch entsprechenden Personal- und Hilfsmiteileinsatz (z.B. Kräne mit Sauggehänge) durchgeführt werden. Die Aushärtungszeit soll dabei nicht als einschränkendes Kriterium gesehen werden, da sie durch eine entsprechende Beheizung wesentlich beschleunigt werden kann.

Des Weiteren sind nur noch die Arbeitsstationen Kleben und Verfugen angeordnet. An der Klebestation wurden bei der Auslegung folgende Einzelarbeitsschritte mit entsprechenden Zeiten angesetzt. Die sich daraus ergebende Gesamtzeit soll als Vorgabe für die Verfugestation herangezogen werden.

	Arbeitsschritt	Beschreibung	Arbeitszeit
1	Positionieren Rahmen	Abheben des Rahmens von der Förderstrecke und Positionieren	0,5 min
2	Positionieren Laminat	Abheben des Laminats von der Förderstrecke und Positionieren	0,5 min (gleichzeitig mit Schritt 1)
3	Greiferwechsel	Ablegen des Laminatgreifer und Aufnehmen des Klebgreifer	0,5 min (gleichzeitig mit Schritt 1)
4	Klebstoffauftrag	Raupenaufbringung am Rahmen durch den Roboter (entscheidend ist die Fördermenge der Dosieranlage)	2 min
5	Greiferwechsel	Ablegen des Klebgreifer und Aufnehmen des Laminatgreifer	0,5 min
6	Aufnahme Laminat	Druckaufbau Sauger	0,5 min
7	Einbringen Laminat	Positionieren des Laminates über dem Rahmen und Eindrücken in die Kleberaue durch den Roboter	1 min
8	Absetzen Modul	Ablassen des Moduls auf die Förderstrecke	0,5 min
	Gesamtablauf		5 min

Tabelle 6 Ablaufzeiten Klebestation

Die gesamte Fertigung wird auf eine Taktzeit von fünf Minuten konzipiert. Daraus lassen sich die Modulstückzahlen errechnen. Pro Tag lassen sich im Einschichtbetrieb (mit 7,7 Stunden) theoretisch 92 Module fertigen. Mit einer angenommenen Verfügbarkeit von 85% wird mit 78 Modulen gerechnet. Dieser Wert wurde für die weiteren Kalkulationen im Finanzwesen und für die Logistikauslegungen herangezogen.

3.4.2 Anlagenkosten

Aufgrund der wirtschaftlichen Situation des Unternehmens und der sehr schwer einschätzbaren Marktsituation des neuen Produktes sollen die Investitionskosten möglichst gering gehalten werden.

Der spätere Umbau auf eine teurere Ausführungsvariante mit eventuell geringeren Betriebskosten, einem schnelleren Fertigungsablauf und/oder besseren qualitativen Ergebnissen soll möglich sein.

3.5 Vorschriften

Die Arbeitsstation muss den geltenden Gesetzen und Vorschriften entsprechen.

3.6 Anforderungen

Nun können aus der Analyse der Aufgabe die speziellen Anforderungen an die Arbeitsstation für das Verfugen ermittelt werden.

	Anforderung	Beschreibung
1	Verfugen der Module	
2	Fugenposition	entsprechend der verwendeten Lamine mit Abmessungen von 950 x 1630 mm bis 1000 x 1700 mm und einfache Umstellung bei Laminatwechsel

3	Fugendimension	theoretisch 5,5 x 9 mm entlang der Fugenposition
4	Flexible Vergussmassenmenge	Ausgleichen der Teiletoleranzen durch Anpassung der Menge zum vollständigen und ebenen Abschluss der Fuge
6	Durchsatzzeit	5 Minuten
7	Einbindung in den Fertigungsablauf	Entnahme des Produktes vom Transportband und Ablage nach Abschluss der Arbeit
8	Möglicher späterer Umbau	Anpassung auf Auftragslage

Tabelle 7 Spezielle Anforderungen

Zudem sollen auch die allgemeinen Anforderungen an die Gestaltung einer Konstruktion eingehalten werden.

	Anforderung	Beschreibung
9	Fertigungsgerechte Konstruktion	
10	Einhaltung der Vorschriften	z.B. Arbeitsschutzrichtlinien, Maschinenrichtlinien
11	Platzsparende Bauweise	
12	Verwendung von Standardkomponenten	
13	Modulare Bauweise	
14	Verwendung von Wiederholteilen	
15	Einfache Montage und Reparatur	
16	Fertigung der Komponenten im eigenen Unternehmen	

Tabelle 8 Allgemeine Anforderungen

4 Recherche

Die Recherche wurde vor allem im Internet durchgeführt. Zudem wurden aber auch Informationen vom Klebstoffhersteller eingeholt, da dieser ähnliche Anwendungsfälle kennt. Vom Vertreter der Firma wurde ein solcher beschrieben. Leider war es nicht möglich, Informationen zum dort eingesetzten Fertigungsverfahren zu erhalten.

Es wurde nach weiteren ähnlichen Problemfällen, vor allem in der industriellen Anwendung, gesucht. Ein nicht industrielles Beispiel ist das Verfugen von Glasscheiben in entsprechenden Unterkonstruktionen. Dies wird durch einen Arbeiter ausgeführt, der zuerst das Fugenmaterial einbringt und dann mit einem Abzieher (bzw. Glaserspachtel) das überschüssige Material entfernt. Ein Beispiel aus der industriellen Fertigung ist das Verfugen des Spaltes zwischen einem Ceranfeld zum Kochen und dem Rahmen. Diese Anwendung konnte bei der Firma Gerätewerk Matrei betrachtet werden. Das Einbringen der Vergussmasse erfolgt hierbei automatisch mit einem gewissen Mengenüberschuss. Das Abziehen dieses Materials wird wiederum durch einen Mitarbeiter ausgeführt. Zuerst wird die Masse grob abgezogen und in einem zweiten Schritt nochmals nachkorrigiert. Zur Arbeitserleichterung wird ein entsprechendes Glättmittel eingesetzt. Der manuelle Arbeitsschritt wird in sehr kurzer Zeit durchgeführt.

Eine Recherche erfolgte zudem beim deutschen Patent- und Markenamt im Internet unter der Seite www.depatist.net. Hier wurde nach Veröffentlichungen zur industriellen Verfugung gesucht. Leider wurden hierbei keine nennenswerten Ergebnisse gefunden.

Bei der Internetrecherche bei möglichen Anlagenbauern und bei Anbietern von Messsystemen wurden mehr Informationen gefunden.

Das automatische Auftragen von Klebstoffen wird bereits in sehr vielen Bereichen angewendet. Viele Anwendungen aus der Automobilindustrie werden im Internet beschrieben. Dabei wird eine genau definierte Klebstoff- oder Dichtmassenraupe entlang einer vordefinierten Bahn aufgetragen. Um dies auch bei komplizierten Strukturen

durchführen zu können, wird meist ein 6-Achsen-Industrieroboter eingesetzt. Der Klebekopf wird dabei an der sechsten Achse des Roboters befestigt. Teilweise wird auch die Dosieranlage bei kleinen Auftragsmengen am Roboter montiert, um die Klebstoffleitungen kurz zu halten und eine genauere Dosierung zu ermöglichen.

Für einfache automatische Auftragsanwendungen werden auch Linearantriebe eingesetzt. Dadurch kann eine Kostenersparnis gegenüber Robotern erreicht werden. Entweder können hier Linear- (Kartesische-)Roboter oder aber einfache Linearantriebe in der entsprechend benötigten Anordnung eingesetzt werden.

Bei der Recherche nach möglichen Messsystemen haben sich wenig mögliche Varianten ergeben. Ein sehr weit verbreitetes Verfahren ist hier die Bildverarbeitung. Diese wird für sehr viele unterschiedliche Anwendungsfälle eingesetzt und soll daher auch für die Vermessung der Fuge betrachtet werden.

Ein weiteres vielversprechendes Messsystem wurde auf der Internetseite der Firma Keyence (www.keyence.de) gefunden. Es handelt sich dabei um ein 2D-Lasermesssystem, mit dem ein genaues Abbild des Querschnitts ermittelt werden kann. In nachfolgender Abbildung sind Anwendungsbeispiele des 2D-Lasermesssystems von Keyence aufgezeigt. Diese kommen der hier vorliegenden Messaufgabe sehr nahe und werden daher auch als mögliche Lösungsvariante weiterbetrachtet. Leider muss das Messsystem aber entlang der Fuge zur Vermessung geführt werden.

Aufgrund der vielfältigen Anbieter für die Handhabungsgeräte und auch für die Bildverarbeitung wurde auf kein spezielles Produkt genauer eingegangen. Eine Auswahl erfolgt hier erst bei der Auskonstruktion einer Variante.

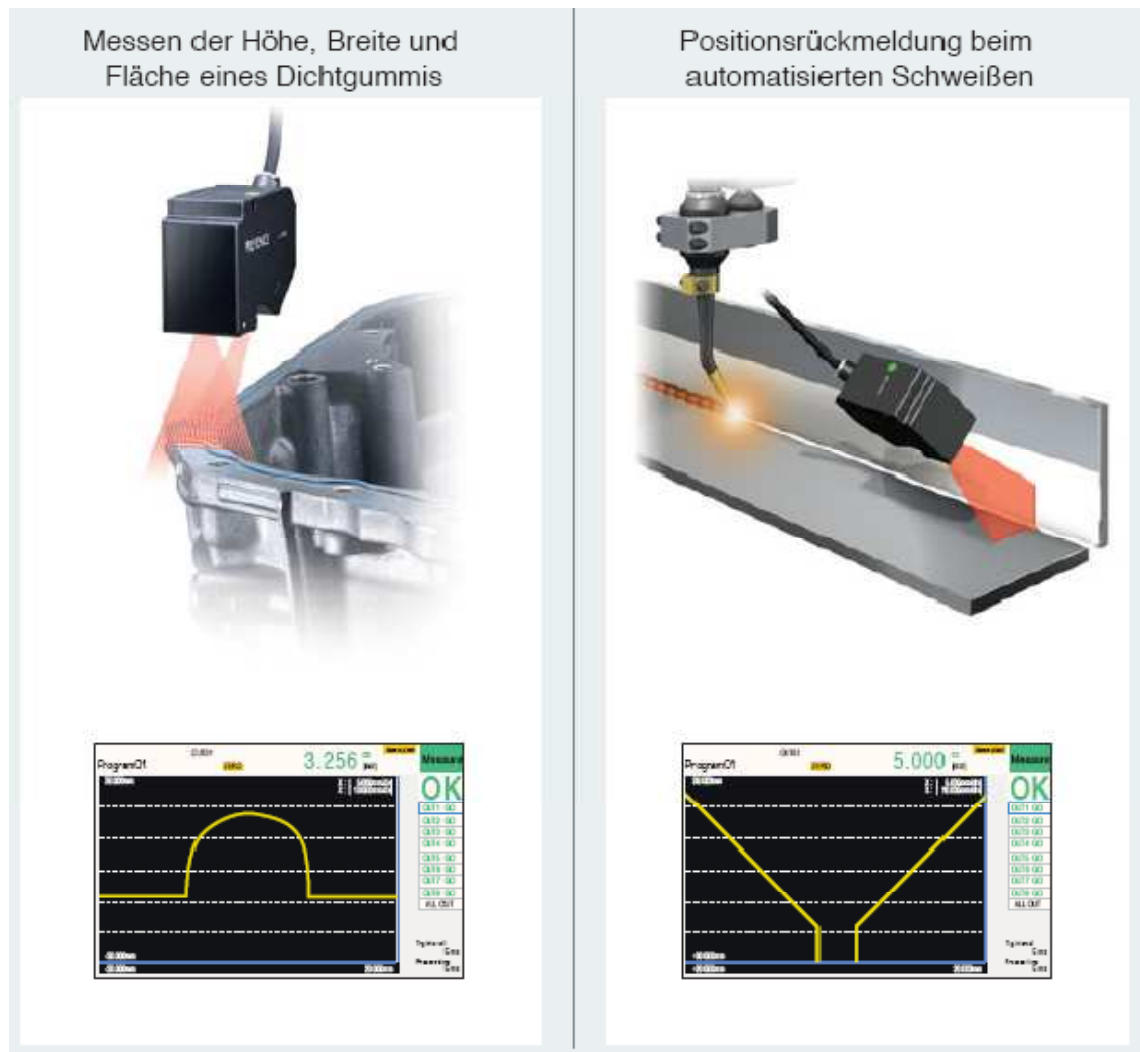


Abbildung 20 Anwendungsbeispiele 2D-Lasermesssystem (Keyence, 2008, S. 6)

5 Entwicklung von Lösungsvarianten

Nach den ermittelten Informationen soll nun eine Einteilung der Lösungsvarianten erfolgen. Es soll hier auch die Möglichkeit einer manuellen Verfertigung nicht ausgeschlossen werden. Daher wird zwischen einer

- manuellen Arbeitsstation und einem
- automatischen Ablauf unterschieden.

Bei der automatischen Arbeitsstation werden die Abläufe zur besseren Übersichtlichkeit nochmals in das

- Vermessen der Fuge und dem
- Einbringen der Vergussmasse unterteilt.

5.1 Manuelle Arbeitsstation

Um den Arbeitsschritt manuell ausführen zu können, muss ein entsprechender Arbeitsplatz für einen Mitarbeiter geschaffen werden. Aufgrund der Abmessungen der Module und der eingeschränkten Zugänglichkeit muss das Modul an den Mitarbeiter herangebracht werden. Um auch den ganzen Umfang der Module verfugen zu können, muss eine Drehvorrichtung für die Module vorgesehen sein.

Der Arbeitsablauf an dieser Station würde wie folgt ausgeführt werden:

- Modul vom Transportband heben
- Ausfüllen der Fuge
- Abziehen der überflüssigen Vergussmasse

5.1.1 Modul aufnehmen

Das Modul muss von den Förderbändern abgehoben und zum Mitarbeiter herangeführt werden. Zudem muss die Hebevorrichtung mit einem entsprechenden Drehteller ausgestattet sein, damit der Mitarbeiter das Modul an allen Seiten bearbeiten kann.

5.1.2 Fuge ausfüllen

Die Fuge kann nun mit der Vergussmasse aufgefüllt werden. Hierbei soll eine entsprechende Überhöhung ausgestaltet werden. Die benötigte Massenmenge kann vom Mitarbeiter einfach bestimmt und somit die Geometrieabweichungen ausgeglichen werden.

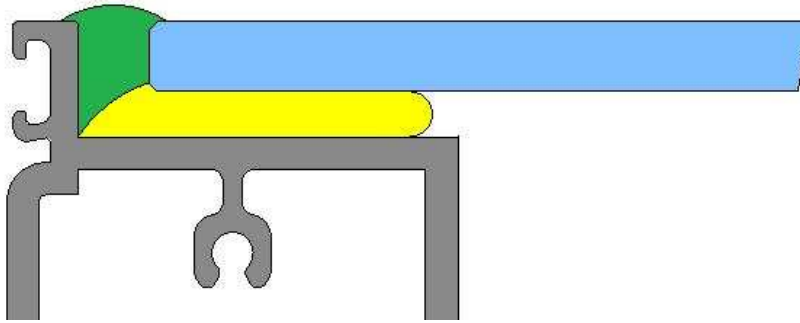


Abbildung 21 Vergussmasse überhöht

Die Vergussmasse kann durch eine einfache Druckluftpistole oder durch eine Dosieranlage gefördert werden. Um eine Entlastung für den Mitarbeiter zu erreichen, kann die Pistole an einem Federzug (Balancer) an der Hallendecke befestigt werden.

5.1.3 Abziehen

Das Abziehen erfolgt gleich wie z.B. das Abziehen einer Silikonfuge beim Verglasen. Eingesetzt wird eine Spachtel zum Entfernen der überschüssigen Vergussmasse. Zur einfacheren Durchführung kann zusätzlich ein Glättmittel eingesetzt werden. Eine Reinigung der Rahmenoberkante und der Glasoberfläche sollte dadurch nicht vollständig erforderlich sein.

Nach Abschluss der Arbeit muss das Modul wieder in die Ausgangslage gedreht werden. Erst in dieser Position kann es von der Hebevorrichtung ohne Kollisionen wieder auf das Transportband abgesetzt werden. Hierfür sollte eine Arretierung des Drehtellers möglich sein.

5.2 Automatisches Vermessen der Fuge

Ein automatisches Verfugen ohne das Vermessen der Fuge wird nicht näher betrachtet. Durch die in der Aufgabenanalyse beschriebenen Einflussfaktoren auf die Fugenausprägung ist ein sauberer und bündiger Abschluss nicht zu erwarten. Die erforderliche Füllmenge kann in einem zu großen Bereich schwanken. Bei der Bewertung der einzelnen Fertigungsverfahren wird sie aber trotzdem mit den anderen verglichen.

Das Vermessen der Fuge kann nur mit einem berührungslosen System erfolgen, da die Klebmasse zu diesem Zeitpunkt noch keinen größeren punktuellen Krafteinwirkungen standhält. Auch eine Belastung des Laminats soll vermieden werden.

Um die Vermessungsergebnisse auch für die Verfüllung der Fuge verwenden zu können, muss bei jeder automatischen Arbeitsstation das Modul angehoben und gegen Anschläge positioniert werden. Die Positioniereinheit kann gleich der für den Rahmen an der Klebestation ausgeführt werden. Dadurch wird auch eine definierte Lage der Fuge erreicht.

5.2.1 Optische Messsysteme

Ein optisches Messsystem kann nahezu senkrecht von oben auf das Modul gerichtet werden. Es kann damit ausschließlich der Abstand zwischen dem Steg des Rahmens und der Glaskante ermittelt werden.

Aufgrund der Materialpaarungen kann es auch schon dabei zu Problemen kommen. Beim Blick auf das Laminat kann vom Messsystem nur die Rückseitenabschlussfolie erkannt werden. Alle weiteren Materialien des Laminataufbaus sind im Randbereich annähernd durchsichtig. Bei den eingesetzten Laminaten ist, wie bei den am meisten verbreiteten Typen, die Rückseitenfolie weiß ausgeführt. Durch den Einsatz der weißen Folie erhitzt sich das Modul in der Sonne nicht so sehr und es wird mehr elektrische Leistung erzeugt. Der eingesetzte Klebstoff Terostat MS 500 hat ebenfalls die Farbe weiß. Dadurch wird die Auswertung der Bilder des optischen Systems erschwert. Dieses

Problem tritt im rechten Beispiel in der folgenden Abbildung auf. Eine genauere Analyse dieses Problems muss mit dem Hersteller eines solchen Systems durchgeführt werden.

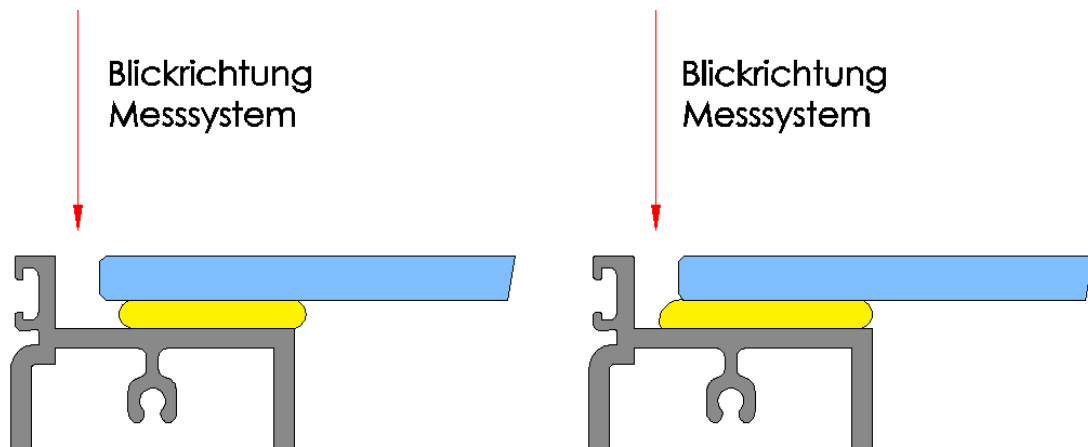


Abbildung 22 Blick Messsystem

Des Weiteren kann ein optisches Messsystem nicht erkennen, wie weit sich die Klebrampe hinter der Laminatkante befindet (linke Skizze der obigen Abbildung). Dieses Problem kann durch das Einbringen einer Teilmenge der Vergussmasse vor dem Vermessen erfolgen. Bei dieser Variante muss mit zwei Verfugezyklen gearbeitet werden. Im ersten Zyklus wird nur eine Teilmenge eingebracht, um die beschriebene Problematik abzustellen. Erst im zweiten Zyklus wird dann die genaue, ermittelte Restmenge der Vergussmasse eingebracht. Nach dem ersten Verfugezyklus kann eine entsprechende Vereinfachung (siehe Abbildung) auftreten.

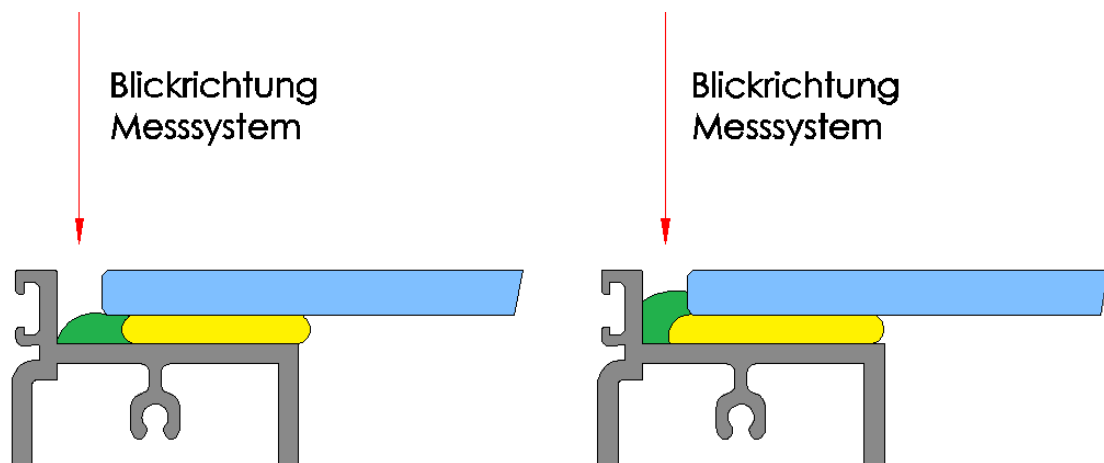


Abbildung 23 Teilverfugung für Messsystem

Dabei tritt eine weitere Erleichterung für das Messsystem ein. Die verwendete Vergussmasse hat die Farbe schwarz. Nun kann die Auswertungssoftware die einzelnen Elemente an der Farbe erkennen.

Element	Elementfarbe
Rahmen	Eloxiertes Aluminium
Laminat	Weiß
Vergussmasse	Schwarz

Tabelle 9 Elementfarben

Die Breite der Fuge an den jeweiligen Positionen kann dadurch genau bestimmt werden. Um aber das benötigte Volumen zum bündigen Verfüllen der Fuge berechnen zu können, ist noch die Tiefe erforderlich. Diese kann mit einem optischen Messsystem nicht ermittelt werden.

Eine weitere Schwierigkeit für dieses Messsystem ist der große erforderliche Erfassungsbereich von ca. 1750 x 1050 mm. Die auszuwertenden Stellen befinden sich am Rand dieses Bereiches, was eine besonders optimale Ausleuchtung des Moduls erfordern wird. Die Kamera muss zudem möglichst hoch über dem zu erfassenden Bereich angebracht werden, wobei sich hier Einschränkungen durch die Höhe der Fertigungshalle ergeben. Daraus ergibt sich ein maximal möglicher Abstand des Aufnahmegerätes von der Oberfläche des Laminats von ca. 2300 mm. In folgender Skizze ist dies abgebildet.

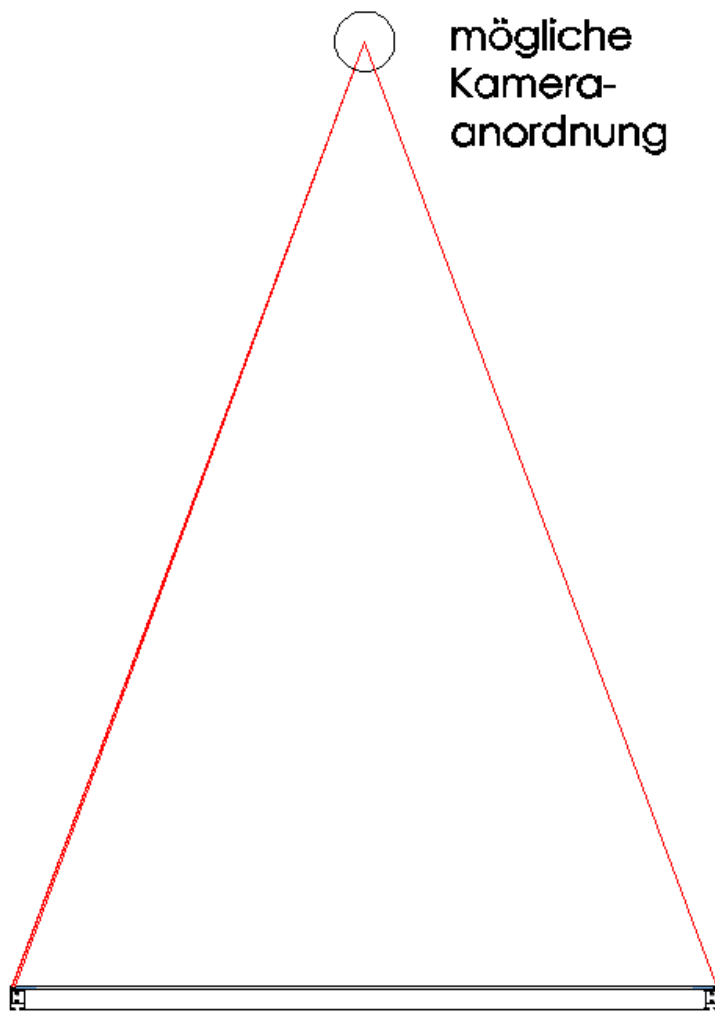


Abbildung 24 Mögliche Kameraanordnung

Durch die mögliche Kameraanordnung wird die Fuge nicht senkrecht aufgenommen. Es ergibt sich eine deutliche Verzerrung des Bildes. Da die obere und seitliche Fläche des Aluminiumprofilstegs nun erfasst wird, ist eine Ermittlung der Stegkante sehr schwierig. Durch unterschiedliche Füllhöhen der Fuge wird das Bild der Fugenbreite weiters verfälscht. Eventuell könnte dieser Effekt bei der Auswertung des Bildes Rückschlüsse auf die Fugentiefe ermöglichen. In der nachfolgenden Abbildung ist die Verfälschung der Fugensicht in der Mitte der kurzen Modulseite dargestellt. Diese Position ist schon um die halbe Laminatlänge (ca. 850 mm) vom Mittelpunkt der Kamera vertikal verschoben. Bis zum Eckbereich steigt die Verschiebung noch auf 986 mm an.

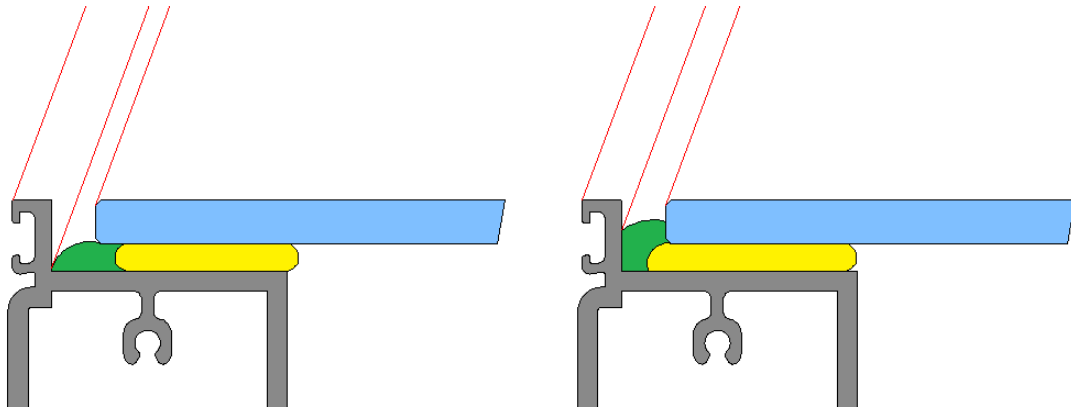


Abbildung 25 Verfälschte Ansicht der Fuge

Die benötigte Auswertungssoftware für die Ermittlung der jeweiligen Fugenbreite aus dem aufgenommenen Bild wurde noch nicht betrachtet. Auch ein entsprechendes Programm zur Ausgabe von mengenabhängigen Steuerbefehlen an eine Dosieranlage, bezogen auf die aktuelle Position der Auftragsdüse, wäre erforderlich.

Die aufgezeigten zu erwartenden Probleme müssen bei einer Weiterverfolgung des optischen Messsystems mit dem Hersteller abgeklärt werden.

5.2.2 Lasermesssystem

Die Lasermesstechnik bietet eine weitere Möglichkeit zur berührungsfreien Vermessung der Fuge. Es können verschiedene Varianten von Lasermesstechniken eingesetzt werden. Dies sind

- 1D- bzw. Punkt-Systeme zur Messung von Abständen,
- 2D-Systeme zur Messung von Profilen und
- 3D-Systeme zur Messung von Formen.

Für die Vermessung der Fuge soll ein 2D-System betrachtet werden. Ein 3D-System würde einen zu großen Auswertungsaufwand hervorrufen. Hierbei treffen auch die Probleme des optischen Messsystems bezogen auf die Verzerrungen durch die zentrale Anordnung des Objektivs auf. Mit dem 2D-Lasermesssystem kann das Oberflächenpro-

fil präzise vermessen und daraus die Querschnittsfläche der Fuge ermittelt werden. Um jedoch das benötigte Vergussmassenvolumen zum bündigen Verfugen ermitteln zu können, muss der Messkopf entlang der Fuge geführt werden. Dies sollte mit dem gleichen Handlingsystem, wie das Einbringen der Vergussmasse erfolgen.

Da auch dieses Messsystem nicht hinter die Laminatkante schauen kann, ist eine teilweise Verfugung auch hier in einem ersten Schritt erforderlich. Anschließend kann vom Lasermesssystem die genaue Kontur der Fuge aufgenommen und ausgewertet werden.

Durch das Führen des 2D-Laser-Messkopfs entlang der Fuge kann zu jeder Modulposition der Querschnitt der Fuge berechnet werden. Daraus können die jeweiligen Vergussmassenmengen ermittelt werden. Diese können bei der endgültigen Verfugung an den jeweiligen Positionen durch Steuerbefehle an die Pumpe weitergegeben werden.

5.3 Automatisches Einbringen der Vergussmasse

Zum automatischen Einbringen der Vergussmasse ist auf jeden Fall eine entsprechende Dosieranlage erforderlich. Des Weiteren muss die Klebedüse der Dosieranlage entlang der Fuge bewegt werden. Für die Bewegung der Düse werden zwei mögliche Ausführungen betrachtet. Dies sind

- die Führung durch einen Industrieroboter oder
- die Führung durch ein Zwei-Achs-System.

Durch die Erkenntnisse aus den in Abschnitt 5.2 erläuterten Messsystemen ist es für eine Vermessung der Fuge auf jeden Fall erforderlich, die Einbringung der Vergussmasse in zwei Stufen durchzuführen. Die sich aus dem verwendeten Messsystem ergebenden Einflüsse auf die Auslegung der Bewegungseinheit werden jeweils noch kurz angedeutet.

5.3.1 Dosieranlage

Um die Vergussmasse automatisch auftragen zu können, ist eine Dosieranlage erforderlich. Diese muss eine genau einstellbare Fördermenge ermöglichen, die sehr schnell an die, mit dem Messsystem ermittelten, Erfordernisse angepasst werden kann.

5.3.2 Roboter

Die Führung der Klebedüse kann durch einen 6-Achsen-Industrieroboter erfolgen. Ein möglicher schematischer Aufbau dieser Arbeitsstation ist in der folgenden Abbildung skizziert.

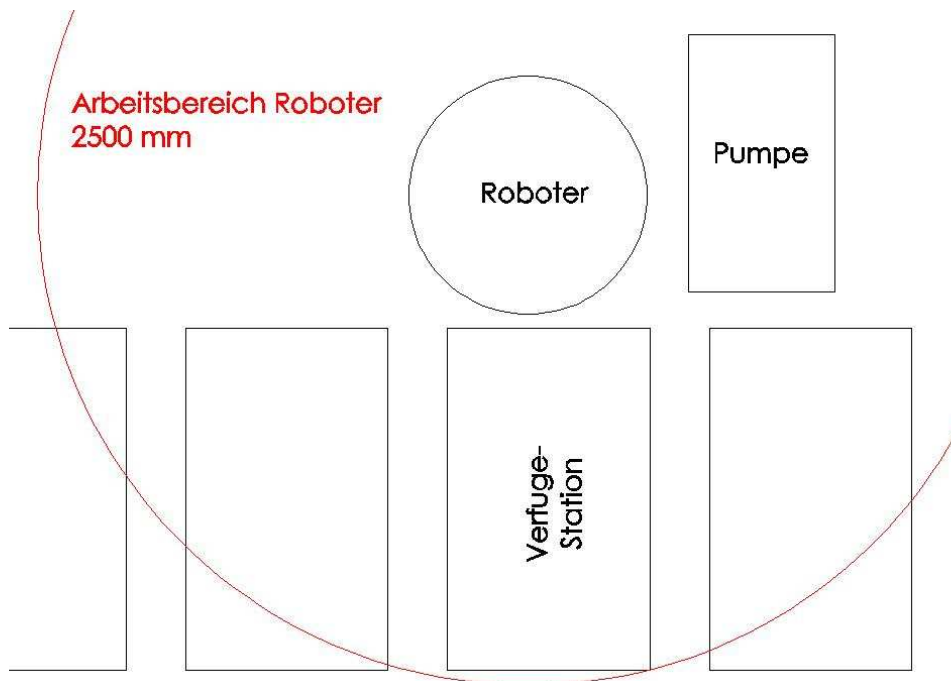


Abbildung 26 Arbeitsbereich Verfugeroboter

Der Aufbau dieser Arbeitsstation ist im Vergleich zur Klebestation viel einfacher. Es wird nur ein Greifer am Roboter für die Aufnahme der Klebedüse benötigt. Der Arbeitsbereich muss mindestens 2500 mm haben. Auch die maximale Nutzlast kann geringer ausfallen, es werden nur ca. 20 kg benötigt. Um den erforderlichen Roboterarbeitsbereich verringern zu können, kann er auch auf einer zusätzlichen Konstruktion über der Förderstrecke angebracht werden.

In weiterer Folge wird nun auf die, sich aus dem verwendeten Messsystem ergebenden besonderen Erfordernisse eingegangen.

a) Optisches Messsystem:

Das Messgerät dieses Systems wird an der Hallendecke oder in entsprechendem Abstand zu dieser montiert. Daraus dürfen sich jedoch keine Einschränkungen in der Beweglichkeit des Roboters ergeben. Für die Durchführung der Messung muss der Bereich zwischen Messgerät und zu messender Oberfläche frei sein. Hierfür kann der Roboter einfach aus diesem Bereich hinausbewegt werden.

b) Lasermesssystem:

Das Lasermessgerät stellt völlig andere Anforderungen an den Roboter. Der Messkopf dieses Systems muss im geringen Abstand zur Moduloberfläche entlang der Fuge geführt werden. Dies kann auch durch den Roboter bewerkstelligt werden. Am Greifer müssen die Klebedüse und der Messkopf angeordnet werden. Die Anordnung muss so erfolgen, dass beiden die optimale Arbeitshöhe ermöglicht wird. Durch Drehen der Roboterhand kann das Messsystem entsprechend den Vorgaben entlang der Fuge geführt werden. Der Drehwinkel der Klebedüse ist nicht relevant.

5.3.3 Zwei-Achs-System

Der erforderliche Bewegungsablauf zum Verfugen kann auch durch zwei entsprechend angeordnete Linearachsen ausgeführt werden. Die Klebedüse muss nur gerade entlang der Längs- bzw. Querseite des Moduls geführt werden. Ein zusätzliches Anheben oder Absenken ist nicht erforderlich. Ein Durchspülen der Klebedüse muss aber möglich sein, da diese Klebstoffe an der Luft aushärten. Nach längeren Standzeiten der Anlage muss zudem die Düse bei ein-komponentigen bzw. das Mischrohr bei zwei-komponentigen Dichtstoffen getauscht werden. Daher sollte mit den Linearachsen eine Position außerhalb des Moduls angefahren werden können.

Bei der Auswahl der Linearantriebe muss besonders auf eine konstante Verfahrensgeschwindigkeit geachtet werden. Besonders für die genaue Verfassung des Eckbereiches sind das Beschleunigungs- und Bremsverhalten relevant.

a) Optisches Messsystem:

Die Achsen der Linearantriebe müssen außerhalb des Modules positioniert werden, um der Kamera einen uneingeschränkten Blick zu ermöglichen.

b) Lasermesssystem:

Der Messkopf des Lasermesssystems muss, genauso wie die Klebedüse entlang der Fuge geführt werden. Bei der Bewegung des Messkopfs muss zudem auf die richtige Ausrichtung zur Fuge geachtet werden. Hierfür ist das Anbringen einer zusätzlichen Drehachse am Zwei-Achs-System notwendig.

5.4 Weitere Elemente für eine automatische Arbeitsstation

5.4.1 Positioniereinheit

Die nötige Positionierung des Moduls für einen automatischen Arbeitsablauf kann entsprechend der Positionierung an der Klebestation erfolgen. Das Modul wird von der Förderstrecke angehoben und dann gegen zwei Anschläge ausgerichtet. Die Bewegungen dieser Station werden mit Pneumatikzylindern ausgeführt. Diese können je nach Bedarf auch von der Steuerung der Förderstrecke betätigt werden.

5.5 Festlegung der Varianten

Bei der Bewertung der automatischen Arbeitsstation werden das Vermessen der Fuge und das Einbringen der Vergussmasse nicht einzeln betrachtet. Durch die geringe Anzahl der einzelnen Varianten kann eine Verknüpfung der beiden Teilarbeitsschritte vorgenommen werden. In der Tabelle sind die sich daraus ergebenden Lösungsvarianten aufgelistet.

Variante	Ablauf	Vermessen der Fuge	Einbringen der Vergussmasse
1	manuell	manuell	manuell
2	automatisch	ohne	Roboter
3	automatisch	ohne	Zwei-Achs-System
4	automatisch	optisches System	Roboter
5	automatisch	optisches System	Zwei -Achs-System
6	automatisch	Lasermesssystem	Roboter
7	automatisch	Lasermesssystem	Zwei -Achs-System

Tabelle 10 Lösungsvarianten

6 Bewertung der Lösungsvarianten

6.1 Festlegung der Bewertungskriterien

Aufgrund der Produktauslegung ist ein besonderes Augenmerk auf die oberflächenbündige Verfugung zu legen. Zudem soll der Produktionsstart in möglichst kurzer Zeit erfolgen können. Ebenfalls sollen die Kosten gering gehalten werden. Aus diesen vagen Forderungen wurden die Bewertungskriterien formuliert.

Folgende Bewertungskriterien sollen je Variante betrachtet werden:

- hohe Prozesssicherheit
- qualitativ hochwertiges Endprodukt
- abgestimmte Vergussmasseneinbringung
- hohe Flexibilität (Fugenlage)
- geringer konstruktiver Aufwand
- geringer steuerungstechnischer Aufwand (inkl. Messauswertung)
- geringer Einstellaufwand
- schneller möglicher Produktionsstart
- geringe Anlagenkosten
- geringe laufende Kosten

Da die einzelnen Varianten noch nicht genauer ausgearbeitet sind, ist eine Einschätzung zu manchen Kriterien sehr schwierig. Um diese zu erleichtern, erfolgt zuerst eine subjektive Einschätzung der Varianten und die Ermittlung der jeweiligen Vor- und Nachteile. Um eine aussagekräftige Einschätzung zu erreichen, fließen hier auch die Erfahrungen der einzelnen Mitarbeiter der Abteilung ein. Falls keine klaren Aussagen getroffen werden können, wird eine weitere Ausarbeitung der Varianten vorgenommen, bis eine Entscheidung getroffen werden kann.

6.2 Einschätzung der Varianten

6.2.1 Variante 1

Bei der manuellen Arbeitsstation ist der Mensch der entscheidende Faktor. Nach einer gewissen Anlernzeit können das Einbringen der Vergussmasse und das bündige Abziehen von einem Mitarbeiter sehr schnell ausgeführt werden. Durch einen entsprechend großen Vergussmassenstrom kann nach Einschätzung der Entwicklungsmitarbeiter die definierte Taktzeit von fünf Minuten eingehalten werden. Hierfür ist jedoch eine Dosieranlage erforderlich, da bei der Verarbeitung der Vergussmasse mit Druckluftpistole öfters Kartuschenwechsel eingeplant werden müssen (eine 310 ml Kartusche reicht für knapp ein Modul).

Den Erfahrungen nach kann bei der Erstellung der ersten Mustermodule mit dem händischen Abziehen der Vergussmasse eine sehr saubere Fuge erreicht werden.

Vorteile:

- geringer Aufwand für die Konstruktion und Steuerung
- sehr geringe Anlagenkosten
- qualitativ hochwertiges Produktergebnis

Nachteile:

- höhere laufende Kosten
- erhöhter Mengenbedarf der Vergussmasse durch überhöhte Füllung der Fuge
- direkte Abhängigkeit vom Mitarbeiter bezogen auf die Durchsatzmenge und das Produktergebnis

6.2.2 Variante 2

Bei der Ausgestaltung einer automatischen Arbeitsstation ohne Messsystem und mit einem Industrieroboter können keine abgestimmten Vergussmassenmengen eingebracht

werden. Aufgrund der im Vorfeld beschriebenen Abweichungen der Fugen ist eine oberflächenbündige Verfüllung der Fuge nicht zu erwarten.

Durch die hohe Flexibilität des Roboters kann die Fuge sehr genau abgefahren werden. Zudem wird der konstruktive Aufwand gering gehalten, da nur ein Greifer für den Roboter ausgestaltet werden muss. Für die Positionierung des Moduls wird die bereits ausgearbeitete Positioniereinheit der Klebestation verwendet.

Vorteile:

- kein Aufwand für ein Messsystem
- geringer konstruktiver Aufwand
- einfache Steuerung

Nachteile:

- keine angepasste Vergussmassenmenge
- sehr schlechtes Verfügungsergebnis
- erhöhte Anlagenkosten

6.2.3 Variante 3

Bei der automatischen Verfügung mittels eines Zwei-Achs-Systems ohne eine Messeinrichtung ergeben sich bezogen auf das Produktergebnis die gleichen Probleme wie bei Variante 2.

Die Ausgestaltung des Zwei-Achs-Systems erfordert hier einen größeren konstruktiven Aufwand. Der Steuerungsaufwand kann nur schwer beurteilt werden, da dieser sehr stark vom ausgewählten Handlingsystem abhängt. Dieser wird als etwas höher als bei einem Roboter bewertet. Um dies genauer einschätzen zu können, müssen entsprechende Informationen von in Frage kommenden Systemen eingeholt werden. Die gleichen Schwierigkeiten ergeben sich bei der Bewertung der Anschaffungskosten. Diese werden

aufgrund des einfacheren Aufbaus der Bewegungseinheit jedoch als geringer eingeschätzt.

Vorteile:

- kein Aufwand für ein Messsystem
- geringere Anlagenkosten als ein Robotersystem

Nachteile:

- keine angepasste Vergussmassenmenge
- sehr schlechtes Verfungungsergebnis
- erhöhter konstruktiver und steuerungstechnischer Aufwand

6.2.4 Variante 4

Bei dieser automatischen Arbeitsstation werden die Fugenabmessungen durch ein optisches Messsystem ermittelt. Die Einbringung der Vergussmasse erfolgt durch einen Roboter.

Das optische Messsystem kann sehr einfach in die konstruktive Auslegung der Arbeitsstation eingebunden werden. Hierfür ist kein großer Aufwand erforderlich. Die Auswertung der ermittelten Daten und die Ermittlung der Fugengeometrie stellt hier die größte Schwierigkeit dar. Wie schon im Punkt 5.2.1 behandelt, ist eine zuverlässige Auswertung extrem schwierig. Ob die Fugentiefe überhaupt ermittelt werden kann, kann erst nach einer genaueren Ausarbeitung eingeschätzt werden.

Bei dieser und auch bei allen folgenden Lösungsvarianten ist das Einbringen der Vergussmasse in zwei Stufen vorzunehmen. Daher muss die Klebedüse zweimal die Fugenlänge abfahren. Die Vorgabezeit kann aber auch damit leicht eingehalten werden. Durch die geringere Ausbringungsmenge können diese Bewegungen schneller ausgeführt werden.

Vorteile:

- geringer konstruktiver Aufwand
- einfache Elementanordnung

Nachteile:

- sehr schwierige Auswertung der Fugengeometrie
- eventuell gar keine Ermittlung der Fugentiefe möglich
- komplizierte Berechnung der Werte für Ansteuerung der Fördermenge der Dosieranlage, da dies je nach Position der Klebedüse erfolgen muss
- hohe zu erwartende Anlagenkosten
- großer Einstellaufwand

6.2.5 Variante 5

Diese Arbeitsstation unterscheidet sich von der Variante 4 nur im verwendeten Handhabungssystem. Für die Führung der Klebedüse werden zwei Linearachsen eingesetzt. Daraus ergibt sich ein etwas höherer konstruktiver Aufwand. Auch muss auf eine freie Sicht des Kamerasystems auf die gesamte Moduloberfläche geachtet werden. Die Beurteilung des optischen Systems bleibt gleich.

Vorteile:

- geringere Anlagenkosten als das System mit Roboter (Variante 4)

Nachteile:

- sehr schwierige Auswertung der Fugengeometrie
- eventuell gar keine Ermittlung der Fugentiefe möglich
- komplizierte Berechnung der Werte für Ansteuerung der Fördermenge der Dosieranlage, da dies je nach Position der Klebedüse erfolgen muss

- großer Einstellaufwand
- erhöhter konstruktiver Aufwand

6.2.6 Variante 6

Bei dieser automatischen Arbeitsstation wird ein Lasermesssystem zusammen mit einem Roboter eingesetzt. Hierbei muss auch der Messkopf entlang der Fuge geführt werden. Durch den vorgesehenen 6-Achsen-Roboter kann dieser im entsprechenden Abstand und Ausrichtung zur Fuge einfach geführt werden. Es muss nur ein Robotergreifer zur Aufnahme der Klebedüse und des Messkopfs konstruiert werden.

Durch den Einsatz des 2D-Lasermesssystems kann der Fugenquerschnitt genau bestimmt werden. Daraus kann eine davon abhängige Fördermenge an die Dosieranlage übergeben werden. Dies muss wieder entsprechend der Werkzeugposition am Modul erfolgen. Da auch schon die Querschnittswerte bezogen zur Position aufgenommen wurden, sollte dies relativ einfach möglich sein.

Vorteile:

- geringer konstruktiver Aufwand
- genaue Ermittlung des Fugenquerschnitts
- einfachere Auswertung der Fugengeometrie
- positionsabhängige erforderliche Vergussmassenmengen
- qualitativ hochwertiges Endprodukt

Nachteile:

- komplizierte Pumpenansteuerung
- hohe Anlagenkosten

6.2.7 Variante 7

Die letzte Variante ist die Verbindung des Lasermesssystems mit einer 2-Achsen-Einheit. Durch die Anordnung der Klebedüse und des Messkopfs reicht aber eine reine Führung durch zwei Linearachsen nicht aus. Um die Orientierung des Lasermesskopfs zur Fuge gewährleisten zu können, ist eine zusätzliche Drehachse erforderlich.

Vorteile:

- genaue Ermittlung des Fugenquerschnitts
- einfachere Auswertung der Fugengeometrie
- positionsabhängige erforderliche Vergussmassenmengen
- qualitativ hochwertiges Endprodukt

Nachteile:

- hoher konstruktiver Aufwand
- komplizierte Pumpenansteuerung
- komplizierte Steuerung der Verfahreinheit

6.3 Bewertung der Varianten

Nun kann die Bewertung der einzelnen Varianten vorgenommen werden. Hierbei wird den einzelnen Bewertungskriterien zu jeder Variante eine Zahl zugewiesen. Dabei stehen die Zahlen 1 für sehr gute Erfüllung des Kriteriums bis 8 für schlechte Erfüllung. Eine Bewertung mit 9 bedeutet eine nicht mögliche Erfüllung des Kriteriums. Ein mit 9 bewertetes Kriterium einer Variante bedeutet den Ausschluss dieser.

Variante Bewertungskriterium	1	2	3	4	5	6	7
hohe Prozesssicherheit	5	3	4	6	7	4	5
qualitativ hochwertiges Endprodukt	3	8	8	4	4	2	2
abgestimmte Vergussmasseneinbringung	2	9	9	5	5	3	3
hohe Flexibilität (Fugenlage)	1	1	2	1	2	1	2
geringer konstruktiver Aufwand	1	2	4	2	5	3	5
geringer steuerungstechnischer Aufwand (inkl. Messauswertung)	1	2	3	8	8	5	6
geringer Einstellaufwand	2	7	8	5	6	3	5
schneller möglicher Produktionsstart	1	5	6	8	8	5	6
geringe Anlagenkosten	1	5	3	8	6	7	5
geringe laufende Kosten	7	2	2	2	2	2	2
Durchschnitt	2,4	4,4	5	4,9	5,3	3,5	4,1
Anzahl von nicht möglich (9)	0	1	1	0	0	0	0
Anzahl von sehr gut (1)	5	1	0	1	0	1	0

Tabelle 11 Bewertungsergebnis

Die Varianten können nicht ausschließlich nach den erreichten Durchschnittswerten gereiht werden. Es muss auch die Anzahl von sehr gut und nicht möglich erfüllten Kriterien beachtet werden.

6.4 Festlegung der bevorzugten Variante

Nach der Auswertung wird die Variante 1 (manuelle Arbeitsstation) bevorzugt. Die Anlagenkosten sind dabei sehr gering, zudem kann die Fertigung sehr schnell aufgenommen werden. Dies kommt auch der noch nicht genau einschätzbaren tatsächlich benötigten Produktionsmenge entgegen und hält die Produkteinführungskosten niedrig. Allerdings hängt bei dieser Variante das erreichbare Produktergebnis sehr stark von der jeweiligen Ausführung durch den Mitarbeiter ab. Daraus entsteht ein sehr hoher Kontrollaufwand, um die gewünschte, kontinuierlich gleichbleibende Produktqualität erreichen zu können.

Zudem soll auch eine automatische Arbeitsstation konzipiert werden. Bei einer entsprechend genauen Vermessung der Fuge kann damit eine kontinuierlich gleichbleibende Qualität erreicht werden. Die automatische Arbeitsstation soll so ausgeführt werden, dass sie auch später in sehr kurzer Zeit in die Fertigungsanlage integriert werden kann.

Die Varianten 2 und 3 (ohne einer Messeinheit) scheiden aufgrund der nicht angepassten Vergussmassenmenge aus, da dadurch kein gutes Endergebnis möglich ist. Dies hat sich auch bei der Bewertung gezeigt.

Die Varianten mit dem optischen Messsystem (Variante 4 und 5) haben sich als nicht vorteilhaft herausgestellt. Zudem können nicht alle zu erwartenden Probleme bei der Vermessung der Fuge mit Sicherheit beseitigt werden.

Die Varianten 6 und 7 haben sich bei den automatischen Lösungen als besser geeignet herausgestellt. Hierbei hat die Robotervariante die bessere Bewertung erreicht, allerdings werden auch die Anlagenkosten aufgrund der Anschaffungskosten des Roboters als höher eingeschätzt. Eine Entscheidung zwischen diesen Varianten soll erst nach einer weiteren Analyse erfolgen. Dabei sollen im ersten Schritt vor allem der Bewegungsablauf und die Anlagenkosten betrachtet werden. Im Anschluss soll die Auswahl der Bewegungseinheit möglich sein.

7 Manuelle Arbeitsstation

Die manuelle Arbeitsstation wird, wie in Punkt 5.1 beschrieben, ausgeführt. Die eigentlichen Arbeitsschritte werden durch eine Person ausgeführt. Um einen möglichst einfachen Arbeitsablauf für den Mitarbeiter zu ermöglichen, soll das Modul nach vorne gehoben und dann gedreht werden können.

Die Konstruktion für diese manuelle Arbeitsstation besteht daher nur aus einer Modulaufnahme, einer Dreh- und einer Schwenkvorrichtung.

7.1 Voraussetzungen der Arbeitsstation

Die Arbeitsstation entnimmt das Modul von der Förderstrecke und legt es nach dem Arbeitsgang wieder ab. Die Transportbänder verlaufen durch die zu planende Arbeitsstation, daher sind die Maße dieser für die Auslegung erforderlich. Durch die vorgeschaltete Arbeitsstation Kleben ist das Modul auch schon auf der Förderstrecke positioniert. Diese Voraussetzungen und die Maße werden in der folgenden Skizze dargestellt.

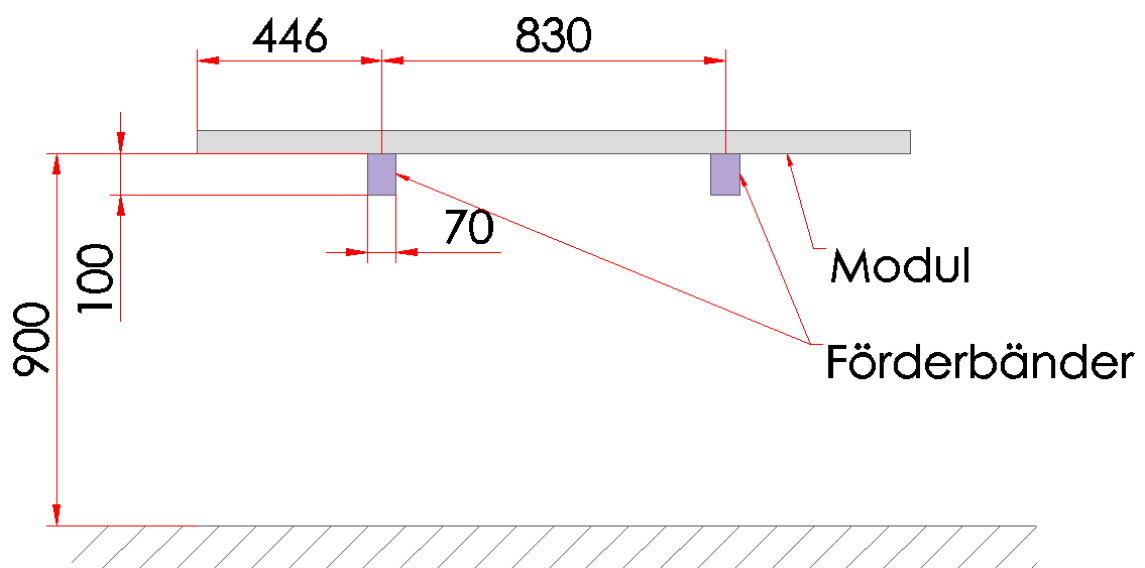


Abbildung 27 Abmessungen Förderstrecke

Die Stützen der Förderbänder können ziemlich frei positioniert werden. Diese erfolgt so, dass keine Einschränkungen für die Gestaltung der Verfugestation entstehen.

Um möglichen Spannaufnahmen für das Modul vorsehen zu können, ist auch der Abstand der Module auf dem Förderband zueinander wichtig.

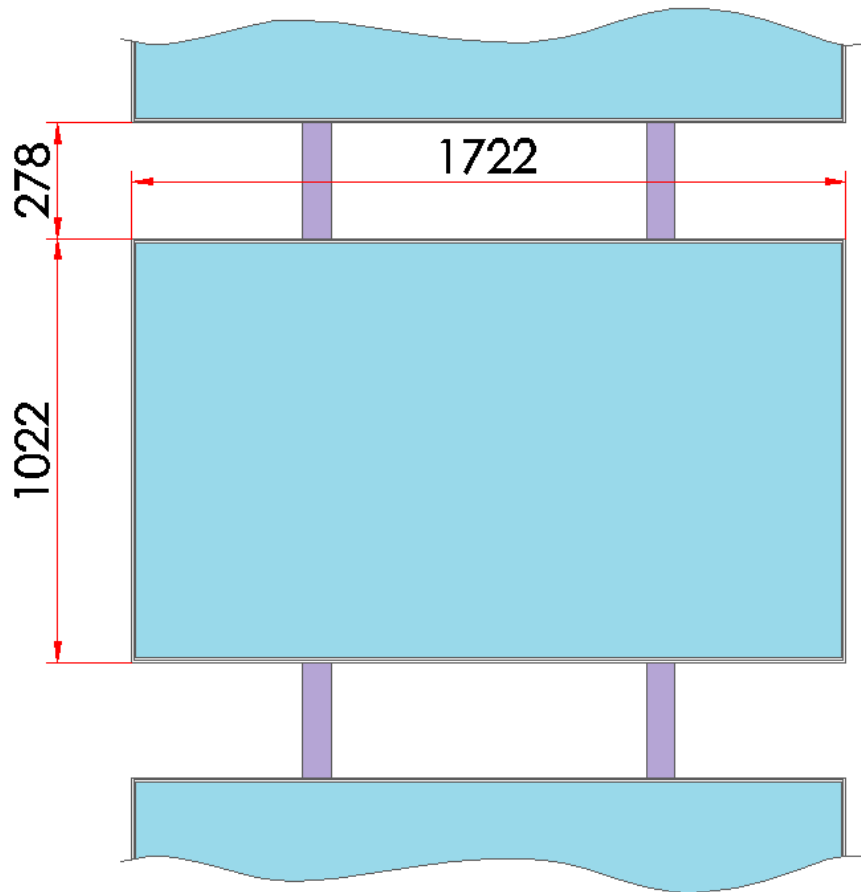


Abbildung 28 Modulabstand Förderband

7.2 Konstruktion Hubtisch

7.2.1 Modulaufnahme

Das Modul wird zwischen den Förderbändern aufgenommen, dadurch kann auch die Drehvorrichtung möglichst in der Mitte des Moduls angebracht werden. Um dem Mitarbeiter einen bequemen Zugang zu der Modulkante zu gewährleisten, soll die Modulspannung von innen erfolgen. Dafür wird ein Formrohrrahmen zur Aufnahme der Anschläge und der Zylinder gefertigt.

Die Konstruktion ist als Formrohrrahmen ausgeführt. Darauf werden Platten montiert, auf denen der Rahmen aufliegt und beim Spannen verschoben werden kann. Die erforderlichen Anschläge werden aus Polyamid gefertigt. Die ausgewählten Zylinder werden durch Standardbefestigungselemente mit der Konstruktion verbunden.

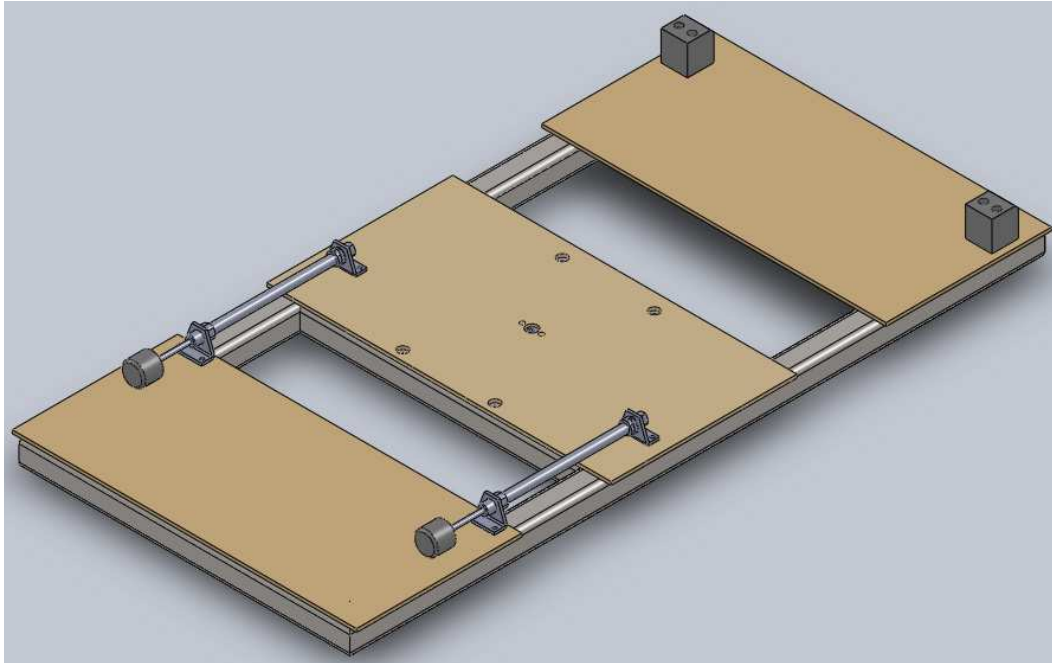


Abbildung 30 Manuelle Modulaufnahme

7.2.2 Drehvorrichtung

Die Drehvorrichtung wird zwischen der Modulaufnahme und der Schwenkvorrichtung angebracht. Um ein einfaches Auftragen der Vergussmasse zu ermöglichen, soll die Drehvorrichtung möglichst automatisch alle 90° einrasten. Damit kann die Ausgangsausrichtung des Moduls einfach fixiert werden, um das Modul wieder in die Förderstrecke zurückzubringen.

Die Drehvorrichtung wird durch einen Drehkranz mit einem Außendurchmesser von 330 mm realisiert. Dieser hat eine Tragkraft von ca. 300 kg und ist damit ausreichend dimensioniert.

Für die 90° Winkelfixierung wird ein federndes Kugeldruckstück eingesetzt. Dieses wird an der Schwenkvorrichtung fixiert und greift in entsprechenden Bohrungen des Drehkranzes ein.

Um die Druckluftzufuhr der Spannzyylinder zu gewährleisten und keine Einschränkungen bei der Drehung des Moduls zu haben, wird hierfür eine Drehdurchführung vorgesehen. Durch die Verwendung von einfach wirkenden Spannzyindern mit Federrückstellung muss nur eine Druckluftleitung für die Spannung des Moduls durchgeführt werden. Hierfür wird eine Rotationssteckverschraubung verwendet.

7.2.3 Schwenkvorrichtung

Die Schwenkvorrichtung bringt das Modul an den Mitarbeiter heran. Es soll auch eine optimale Arbeitshöhe erreicht werden. Diese wird mit 1070 mm angenommen. Durch das Anheben des Moduls kann es auch über den benachbarten Modulen auf der Förderstrecke gedreht werden. Mit der Schwenkbewegung soll das Modul möglichst von der Förderstrecke zum Mitarbeiter bewegt werden.

Die Bewegung des Hubtisches soll mit einem Pneumatikzylinder angesteuert werden. Bei der Auslegung der Bewegung sind vorbestimmte Positionen zu durchfahren. Diese ergeben sich durch den Transport des Moduls auf der Förderstrecke, die Aufnahme des Moduls möglichst in deren Mitte und die ausgefahrene Position, in der die Arbeitshöhe für den Mitarbeiter sein soll. Diese Position soll das Modul an den Arbeiter heranbringen. Auch nach der Drehung des Moduls soll der Arbeitsbereich noch außerhalb der Förderstrecke liegen.

Um auf Standardkomponenten zurückgreifen zu können, wurde die Schwenkeinheit aus dem Item Aluminium-Profil-System (www.item24.com) gefertigt. Die Produktdaten können auch hier im Internet Online-Katalog bezogen werden. Es wurde ein entsprechendes Schwenklager ausgewählt.

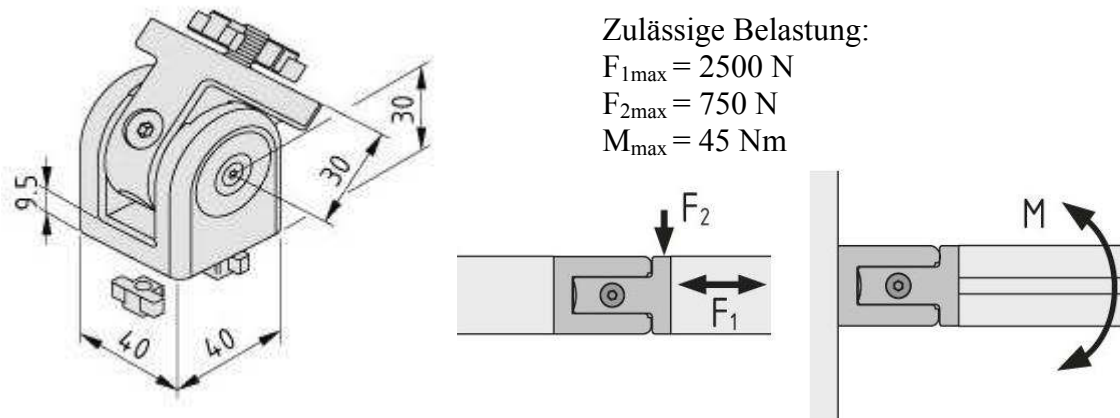


Abbildung 31 Datenauszug Schwenklager 8 40x40

Um die Schwenkeinrichtung ausreichend stabil zu gestalten, wird diese mit 4 Schwenkarmen ausgeführt, dadurch wird auch das plane Anheben des Produktes erreicht. Zum Verhindern von Querkraften wird der Hebel im ausgefahrenen Zustand durch eine Führung aufgenommen. Diese wird an der Unterkonstruktion angebracht, womit ein einstellbarer Anschlag ausgestaltet werden kann.

Die Schwenkvorrichtung wird mittels eines Zylinders betätigt. Es wird nur ein Zylinder vorgesehen, wobei der Hub des Zylinders entsprechend groß gewählt werden muss. Aus den ein- und ausgefahrenen Zuständen muss ein entsprechender Zylinder und deren Befestigungspunkte bestimmt werden. Nach dieser Auslegung wird ein Zylinder mit 320 mm Hub und einem Kolbendurchmesser von 50 mm gewählt. Die Befestigung des Zylinders an der Unterkonstruktion und den Schwenkarmen erfolgt mit den zum Zylinder passenden Befestigungselementen von SMC.

Der Aufnahmerahmen für die Dreheinrichtung und das Untergestell sind wiederum als Schweißkonstruktion ausgebildet. Dies ist kostengünstiger, als auch hierfür Item-Komponenten einzusetzen. Die Breite dieser Einheit wurde mit 600 mm gewählt, um eine entsprechende Stabilität der Schwenkbewegung zu erreichen.

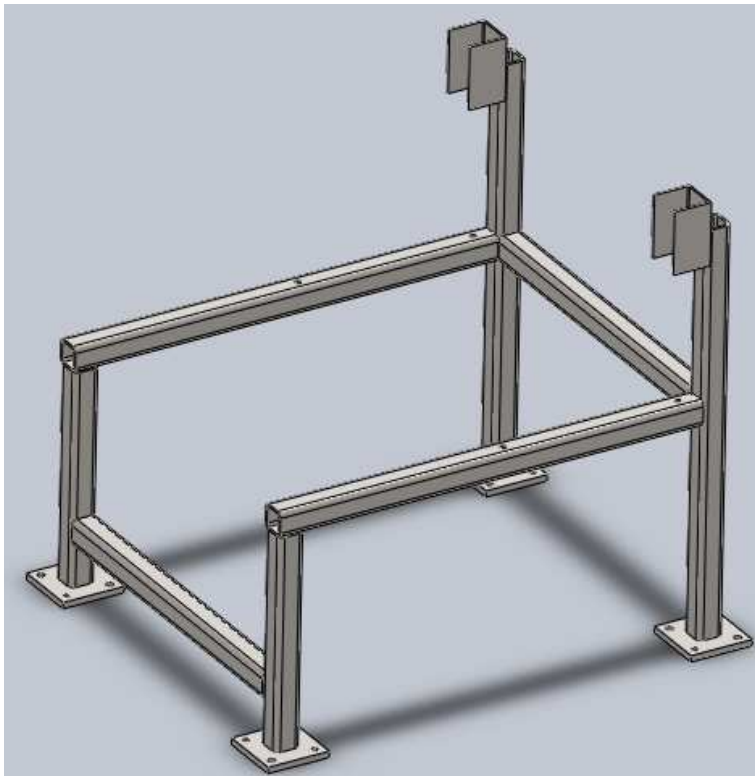


Abbildung 32 Untergestell

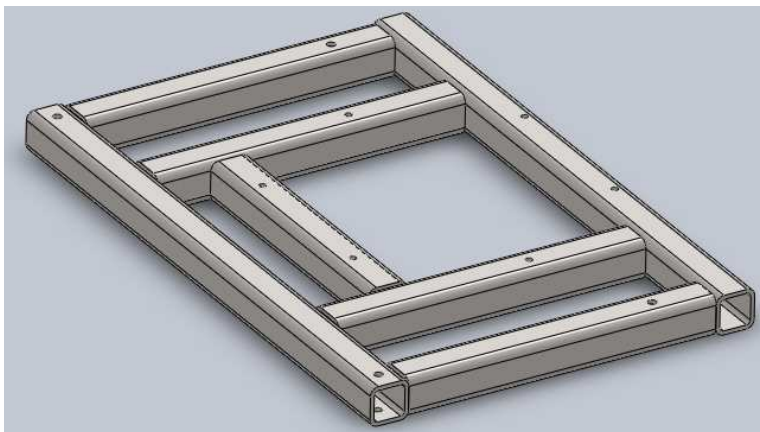


Abbildung 33 Drehaufnehmerahmen

Aus diesen Elementen setzt sich der gesamte Schwenktisch zusammen. In der nächsten Abbildung ist dieser in ein- und ausgefahrenem Zustand dargestellt.

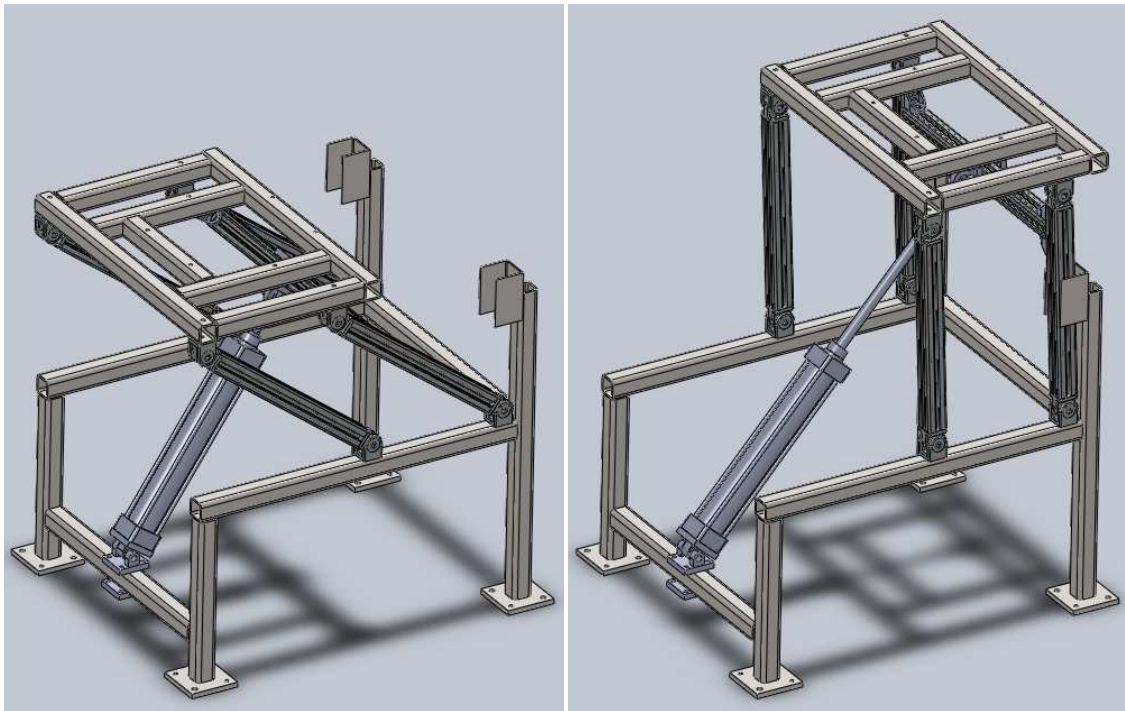


Abbildung 34 Schwenktisch (ein- und ausgefahren)

7.2.4 Gesamtkonstruktion Hubtisch

Aus der Zusammenführung der Teilkonstruktionen ergibt sich der Hubtisch für die manuelle Arbeitsstation.

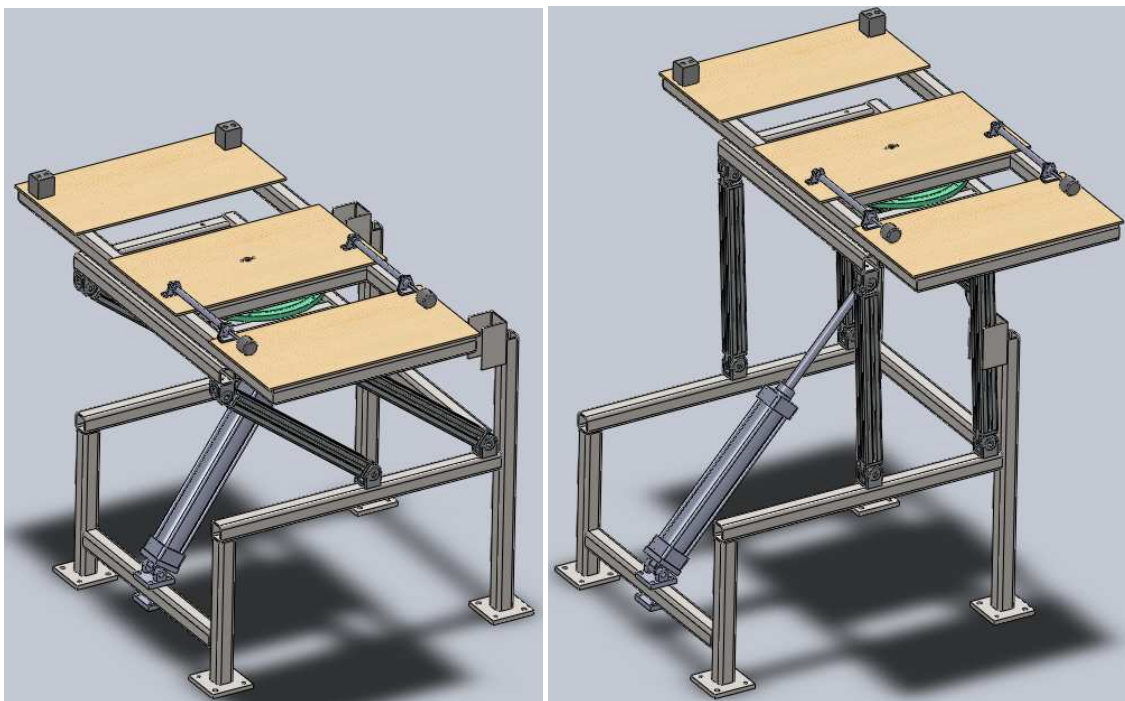


Abbildung 35 Hubtisch

Die manuelle Verfugung an den Querseiten des Moduls ist in der ausgefahrenen Position einfach möglich. Durch die Drehung des Moduls kann auch die Längsseite verfugt werden. Das Modul ragt hierbei ein wenig in die beiden angrenzenden Module auf der Förderstrecke hinein. Auch ist die zu bearbeitende Kante leicht hinter den anderen Modulen. Da der Bereich aber sehr klein ist, kann trotzdem ein sicherer Arbeitsablauf gewährleistet werden. In der folgenden Abbildung ist dies dargestellt, wobei die Förderstrecke nur angedeutet und die Module in vereinfachter Form dargestellt sind.

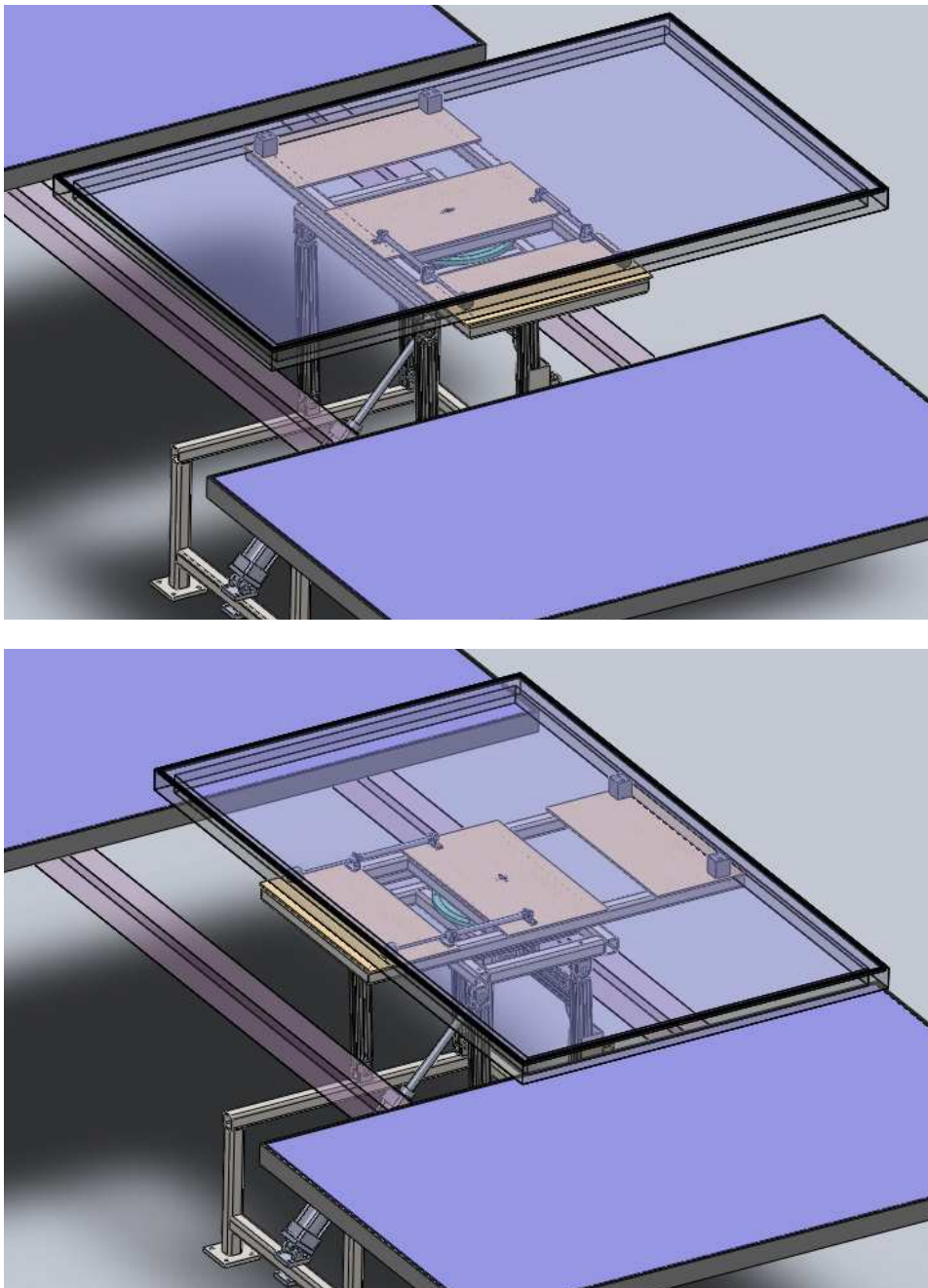


Abbildung 36 Manuelle Arbeitsstation (0° und 90° gedreht)

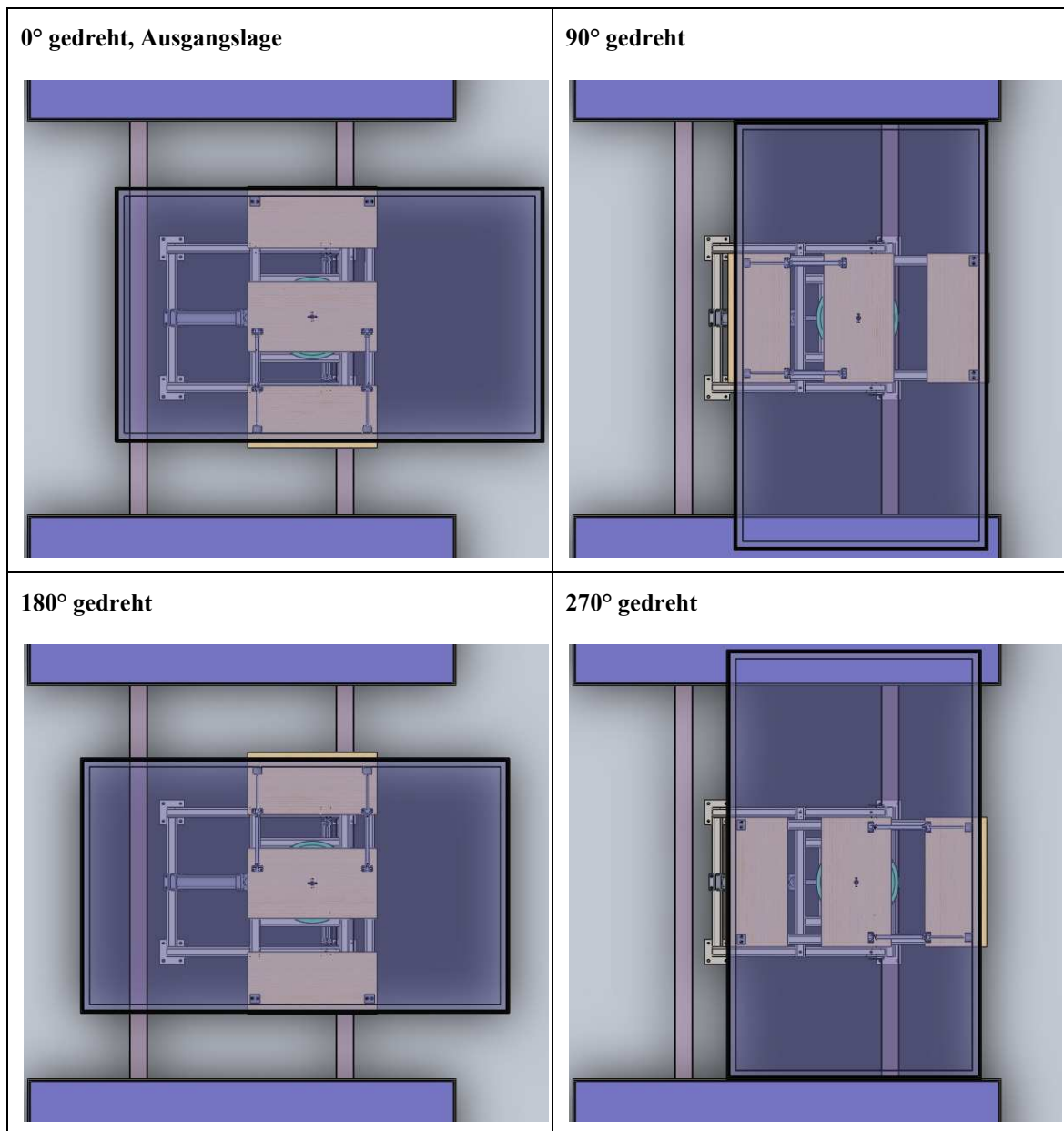


Tabelle 12 Draufsicht manuelle Arbeitsstation

7.3 Statik

Es wird nur ein Beispiel für den statischen Nachweis der Konstruktion erstellt. Die Belastung der Schwenklager wird dabei genauer betrachtet. Die Belastungen auf diese Bauteile ergeben sich einerseits aus den Gewichten der aufgenommenen Elemente und andererseits aus der Belastung durch den Mitarbeiter beim Verfugen. Diese Kräfte sind nachfolgend aufgelistet.

$$F_{GM} = 250 \text{ N}$$

F_{GM} ... Gewichtskraft durch das Modul

$$F_A = 400 \text{ N}$$

F_A ... Krafteinwirkung auf die Modulkante durch den Mitarbeiter

$$F_{MA} = 245 \text{ N}$$

F_{MA} ... Gewichtskraft durch die Modulaufnahme und den Drehkranz

$$F_{DR} = 115 \text{ N}$$

F_{DR} ... Gewichtskraft durch den Drehaufnahmerahmen

Nun wird die Belastung in ausgefahrenem Zustand beim Verfugen in der Ausgangslage betrachtet.

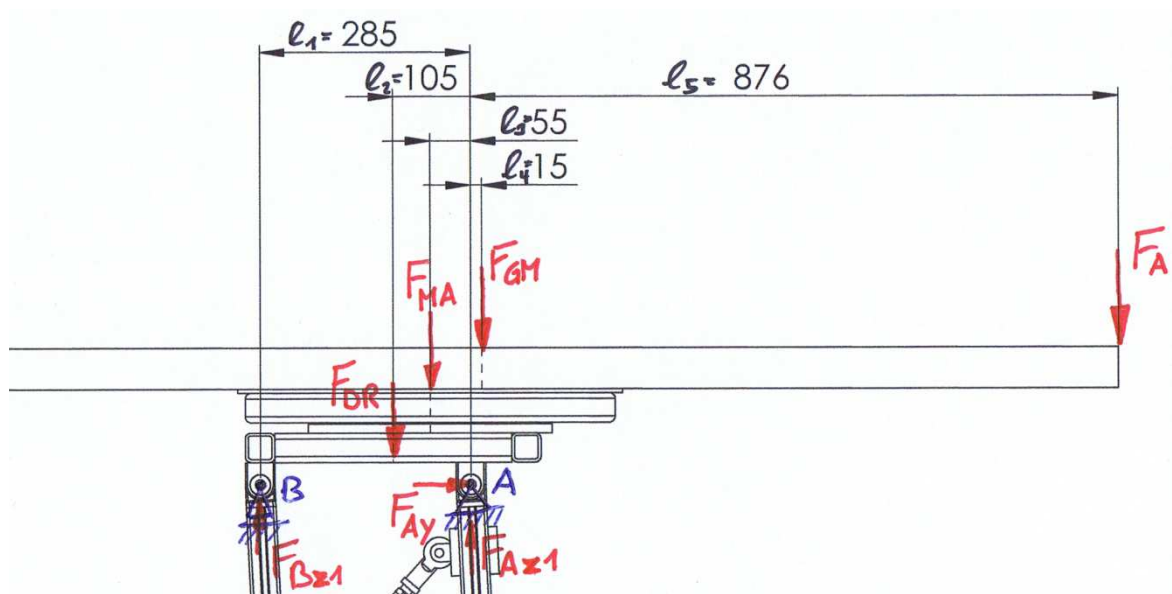


Abbildung 37 Belastung der Schwenklager in Ausgangslage

$$\sum F_z = 0 = F_{Az1} + F_{Bz1} - F_{DR} - F_{MA} - F_{GM} - F_A$$

$$\sum F_y = 0 = F_{Ay}$$

$$\sum M_{\hat{A}} = 0 = F_{Bz1} \times l_1 - F_{DR} \times l_2 - F_{MA} \times l_3 + F_{GM} \times l_4 + F_A \times l_5$$

$$F_{Ay} = 0 \text{ N}$$

$$F_{Bz1} = \frac{F_{DR} \times l_2 + F_{MA} \times l_3 - F_{GM} \times l_4 - F_A \times l_5}{l_1}$$

$$F_{Bz1} = \frac{115 \text{ N} \times 0,105 \text{ m} + 245 \text{ N} \times 0,055 \text{ m} - 250 \text{ N} \times 0,015 \text{ m} - 400 \text{ N} \times 0,876 \text{ m}}{0,285 \text{ m}}$$

$$F_{Bz1} = -1153 \text{ N}$$

$$F_{Az1} = F_{DR} + F_{MA} + F_{GM} + F_A - F_{Bz1}$$

$$F_{Az1} = 115 \text{ N} + 245 \text{ N} + 250 \text{ N} + 400 \text{ N} - (-1153 \text{ N})$$

$$F_{Az1} = 2163 \text{ N}$$

Um auch sicher die maximal auf die Lager wirkende Belastung zu ermitteln, werden noch die Kräfte bei 90° gedrehtem Modul und der Belastung durch den Mitarbeiter an der Modulecke berechnet.

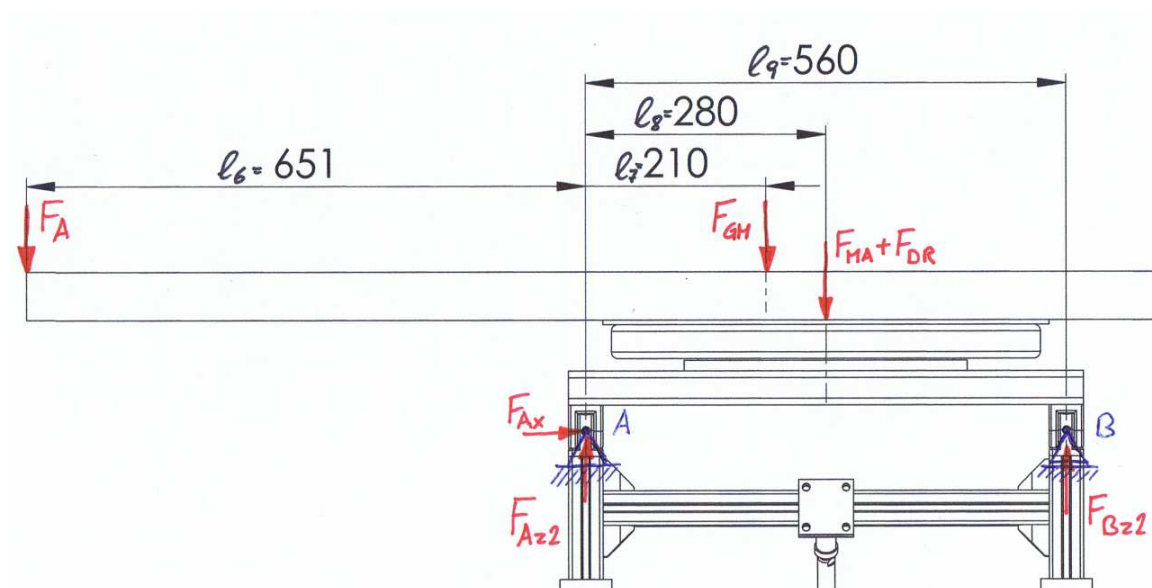


Abbildung 38 Belastung des Schwenklagers 90° gedreht

$$\sum F_z = 0 = F_{Az2} + F_{Bz2} - F_{DR} - F_{MA} - F_{GM} - F_A$$

$$\sum F_x = 0 = F_{Ax}$$

$$\sum M_{\hat{A}} = 0 = -F_A \times l_6 + F_{GM} \times l_7 + (F_{MA} + F_{DR}) \times l_8 - F_{Bz2} \times l_9$$

$$F_{Ax} = 0 \text{ N}$$

$$F_{Bz2} = \frac{-F_A \times l_6 + F_{GM} \times l_7 + (F_{MA} + F_{DR}) \times l_8}{l_9}$$

$$F_{Bz2} = \frac{-400 \text{ N} \times 0,651 \text{ m} + 250 \text{ N} \times 0,21 \text{ m} + (245 \text{ N} + 115 \text{ N}) \times 0,28 \text{ m}}{0,56 \text{ m}}$$

$$F_{Bz2} = -191 \text{ N}$$

$$F_{Az2} = F_{DR} + F_{MA} + F_{GM} + F_A - F_{Bz2}$$

$$F_{Az2} = 115 \text{ N} + 245 \text{ N} + 250 \text{ N} + 400 \text{ N} - (-191 \text{ N})$$

$$F_{Az2} = 1201 \text{ N}$$

Die größte Kraft wirkt auf die Schwenklager an der Stelle A in der Ausgangslage. Da je zwei Schwenklager hintereinander angeordnet sind, muss die Belastung aufgeteilt werden. Die maximal zulässige Belastung der Schwenklager wird nicht überschritten.

$$F_{1max} = 2500 \text{ N}$$

F_{1max} ... Maximalbelastung des Lagers (aus Abbildung 34)

$$F_{Az1}/2 \leq F_{1max}$$

7.4 Steuerung

Der Hubtisch wird an die vorhandene SPS der Förderstrecke angeschlossen und von dieser gesteuert. Nach der Weitertaktung der Module auf der Förderstrecke werden zuerst die Hubzylinder ausgefahren. Nachdem das Modul vollständig auf der Modulaufnahme aufliegt, werden die Spannzyylinder zur Fixierung des Moduls ausgefahren. Die Startposition wird über Reedkontakte am Hubzylinder ermittelt.

Das Absenken des fertigen Produktes wird durch den Mitarbeiter freigegeben. Hier werden zwei Taster zur gleichzeitigen Betätigung angebracht, um eine entsprechende Sicherheit zu gewährleisten. Anschließend fahren alle Zylinder der Arbeitsstation gleichzeitig zurück.

7.5 Dosieranlage

Bei der händischen Einbringung der Vergussmasse in die Fuge werden keine besonderen Anforderungen an die Genauigkeit der Fördermenge der Dosieranlage gestellt.

Bei der Verwendung der Vergussmasse aus Kartuschen kann eine übliche Druckluftpistole verwendet werden (folgende Abbildung). Damit können die Investitionen gering gehalten werden.



Abbildung 39 Druckluftpistole

Da bei der Verwendung von Kartuschen mit größerem Ausschuss und auch mit erhöhten Wechselzeiten gerechnet werden muss, soll in der Serienproduktion bald auf eine Dosieranlage umgestellt werden. Auch die Kosten für die Vergussmasse in Kartuschen sind höher als bei der Verwendung von Fässern, wodurch sich eine entsprechende Anlage schnell amortisiert. Da die Vorschubbewegung des Auftragskopfs vom Mitarbeiter durchgeführt wird, können unterschiedliche Ausbringmengen leicht ausgeglichen werden. Die Anforderungen an die Dosiergenauigkeit sind daher sehr gering. Aus diesem Grund kann für die manuelle Arbeitsstation auch eine Kolbenpumpe eingesetzt werden. Diese ist sehr robust, kostengünstig und einfach aufgebaut.

Für die manuelle Arbeitsstation hat sich eine Dosierpumpe der Firma Dopag als günstigste Variante herausgestellt. Es handelt sich hierbei um eine Kolbenpumpe, mit der aus entsprechenden 25 kg Hobbocks gefördert werden kann. Die Vergussmasse wird durch ein Membran-Auslassventil mit entsprechendem Handgriff in die Fuge eingebracht. Der Auftragskopf wiegt ca. 3 kg und kann leicht vom Mitarbeiter bewegt werden. Der Materialtransport erfolgt über einen Schlauch, der an der Hallendecke befestigt werden kann.



Abbildung 40 Dopag Dosieranlage und Auslassventil (siehe Anhang)

8 Automatische Arbeitsstation

8.1 Voraussetzungen der Arbeitsstation

Die automatische Arbeitsstation wird ebenso wie die manuelle in den Fertigungsablauf integriert. Diese Voraussetzungen wurden schon in Punkt 7.1 beschrieben und werden auch für die automatische Station nicht verändert.

8.2 Ablauf der automatischen Arbeitsstation

Der Arbeitsablauf an dieser Station kann in fünf Einzelschritte laut der folgenden Tabelle aufgeteilt werden.

	Arbeitsschritt	Beschreibung	Arbeitszeit
1	Positionieren Modul	Abheben des Rahmens von der Förderstrecke und Positionieren	0,5 min
2	Einbringen Vergussmasse	Teilmenge der Vergussmasse Einbringen, um die Vermessung zu ermöglichen	1,3 min
3	Vermessen der Fuge	Aufnahme des Fugenquerschnitts entlang der Fuge	1,3 min
4	Verfüllen der Fuge	Einbringen der ermittelten Restmenge	1,3 min
5	Absetzen Modul	Ablassen des Moduls auf die Förderstrecke	0,5 min
	Gesamtablauf		4,9 min

Tabelle 13 Ablauf Verfugestation

Die nötige Verfahrensgeschwindigkeit kann aus der Taktzeit und dem nötigen Bewegungsablauf ermittelt werden. Da eine gewisse Menge der Vergussmasse schon vor dem Vermessen eingebracht werden muss, wird Arbeitsschritt 2 erforderlich. Bei den Schritten 2 bis 4 wird jeweils die Fuge abgefahren. Aus der mittleren Fugenlänge (in Punkt 3.3 berechnet) und der Taktzeit kann die nötige Geschwindigkeit errechnet werden.

$$l_F = 5411 \text{ mm}$$

$$t = 1,3 \text{ min} = 78 \text{ s}$$

t ... Zykluszeit

$$v_{th} = \frac{l_F}{t} = \frac{5411 \text{ mm}}{78 \text{ s}} = 69,4 \text{ mm/s}$$

v_{th} ... *theoretisch Verfahrensgeschwindigkeit*

8.3 Auswahl Handhabungseinrichtung

Da in der Bewertung noch keine endgültige Entscheidung für die Ausführung der automatischen Arbeitsstation gefallen ist, sollen nun weitere Daten erhoben werden. Hierzu werden eine genauere Recherche und eine Angebotseinholung bei Lieferanten für Linearachssysteme durchgeführt. Anschließend kann die technische Machbarkeit beurteilt werden. Zudem werden weiters Vergleichsangebote für Roboter eingeholt, um die aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten beste Entscheidung treffen zu können.

8.3.1 Anforderungen an die Zwei-Achs-Einheit

Die Verfahreineinrichtung wird oberhalb des Moduls angebracht. Sie besteht aus zwei Linearantrieben, die im 90° Winkel zueinander angeordnet sind, um die X- und Y-Koordinaten abdecken zu können. Zudem muss durch einen zusätzlichen Drehantrieb eine Drehung um die Z-Achse ermöglicht werden, um das 2D-Lasermesssystem zur Fuge ausrichten zu können.

Der Arbeitsbereich der Einheit soll einen Verfahrbereich von ca. 2000 mm x 1200 mm ermöglichen. Damit kann die gesamte Fuge abgefahren werden und auch zum Durchspülen des Klebstoffförderschlauchs und der Düse kann eine entsprechende vorgesehene Position außerhalb des Produktes angefahren werden. Die Drehachse soll mindestens einmal um 360° gedreht werden können, damit alle Ecken des Moduls sauber vermessen werden können. Nach Abschluss der Vermessung kann diese wieder in die Ausgangslage zurückgedreht werden. Die zu bewegende Last setzt sich aus dem 2D-Messkopf, der Klebedüse und einer entsprechenden Halterung zusammen. Hierfür wird

eine Belastung mit 20 kg angenommen, da auch Teile des Schlauchs der Dosieranlage mitbewegt werden müssen.

Der Bewegungsablauf ist relativ einfach. Für das Einbringen der Vergussmasse muss die Klebedüse nur entlang der Fuge, also in einer Rechteckbewegung geführt werden. Besonders ist darauf zu achten, dass auch in den Eckbereichen bei der Richtungsänderung der Bewegung eine gleichbleibende Geschwindigkeit erreicht werden kann. Bei der Vermessung der Fuge muss gleichzeitig zur Linearbewegung auch der Messkopf im Eckbereich gedreht werden. Um die Steuerung hierfür zu erleichtern, wird der Messkopf in Drehachslage angebracht.

Durch die Breite der Fuge muss die Positioniergenauigkeit nicht sehr hoch sein. Mit einer maximalen Abweichung von $\pm 0,3$ mm kann immer noch ein sicheres Verfugen gewährleistet werden. Die notwendige Verfahrgeschwindigkeit wurde mit mindestens 100 mm/s gewählt.

Die Steuerung der Verfahreinheit soll möglichst einfach ausgeführt sein, damit das Programm hierfür eigenständig ausgearbeitet werden kann. Es sind unterschiedliche Programme für die möglichen Laminatgrößen erforderlich. Um die Variabilität sicherzustellen, soll für die automatische Arbeitsstation eine eigenständige Steuerung verwendet werden.

Mit diesen Voraussetzungen wurden weitergehende Informationen und Angebote bei möglichen Lieferanten eingeholt.

8.3.2 Anforderungen an den Roboter

Die Voraussetzungen für den Roboter sind ähnlich denen der Zwei-Achs-Einheit. Es soll ein 6-Achsen-Industrieroboter eingesetzt werden. Ein möglicher Arbeitsbereich wurde schon in der Abbildung 27 Arbeitsbereich Verfugeroboter dargestellt. Hier soll aber eine weitere Optimierung vorgenommen werden. Dafür wird eine Montage des Roboters auf einem Portal über der Förderstrecke angedacht.

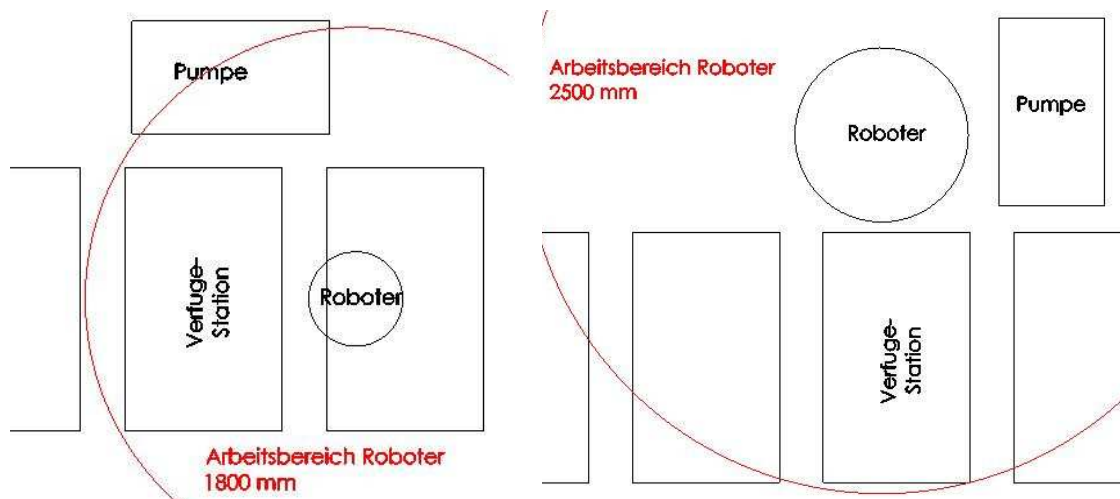


Abbildung 41 Anbringung Verfugersroboter

Durch die Positionierung oberhalb der Förderstrecke kann der Arbeitsbereich von ca. 2500 mm auf 1800 mm gesenkt werden. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass der Arbeitsbereich auch unterhalb der Roboterbefestigung reicht.

Die Voraussetzungen bezogen auf die bewegte Masse, Positioniergenauigkeit und Verfahrensgeschwindigkeit können von der Zwei-Achs-Einheit übernommen werden.

8.3.3 Mögliche Ausführung der Zwei-Achs-Einheit

Mit den Anforderungen wurde bei Herstellern für Linearachsen recherchiert. Nach der Einholung von Angeboten und der Nachbesprechung hat sich die Einheit von der Firma Schlüter Automation und Sensorik GmbH als beste und günstigste Variante herausgestellt.

Es handelt sich hierbei um einen kartesischen Roboter mit zwei Linearachsen und einer zusätzlichen Führung parallel zur X-Achse, wodurch die Anforderungen bezüglich des großen Arbeitsbereichs und der Belastung eingehalten werden können.

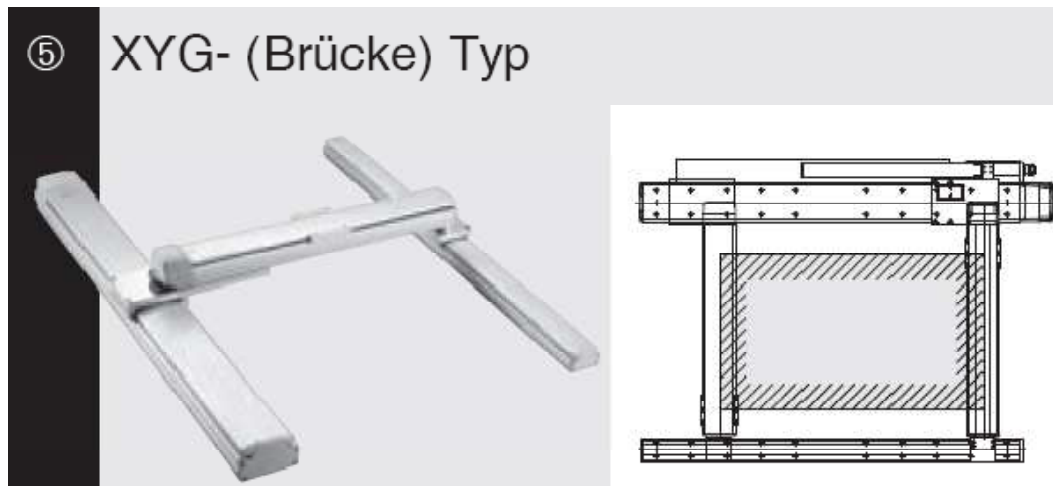


Abbildung 42 Ausführung 2-Achseinheit (Schlüter, 2010, S. 4)

Zur Ausrichtung des Messkopfs wird eine zusätzliche Drehachse verwendet. Nach Rücksprache mit dem Anbieter wird hierfür ein kleines Drehmodul eingesetzt, da auf dieses nur der Lasermesskopf befestigt wird. Der Dosierkopf wird direkt an der Aufnahme der Achseinheit montiert und nicht mitgedreht, wodurch der Schlauch der Dosieranlage weniger belastet wird.

8.3.4 Mögliche Ausführung mit Roboter

Nach der Recherche von Industrierobotern entsprechend den definierten Anforderungen wurden Angebote von den Herstellern eingeholt. Hier wurde zum Beispiel bei der Firma ABB der Typ IRB 2600 – 12 / 1.85 angefragt. Durch eine entsprechende Anbringung des Mess- und Dosierkopfs an der Roboterhand und zusätzliche Lasten am Arm kann die benötigte Tragkraft erreicht werden (ABB Automation GmbH, 2010). Zusätzlich muss dieser Roboter über der Förderstrecke angebracht werden. Eine mögliche Ausführung einer solchen Arbeitsstation ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

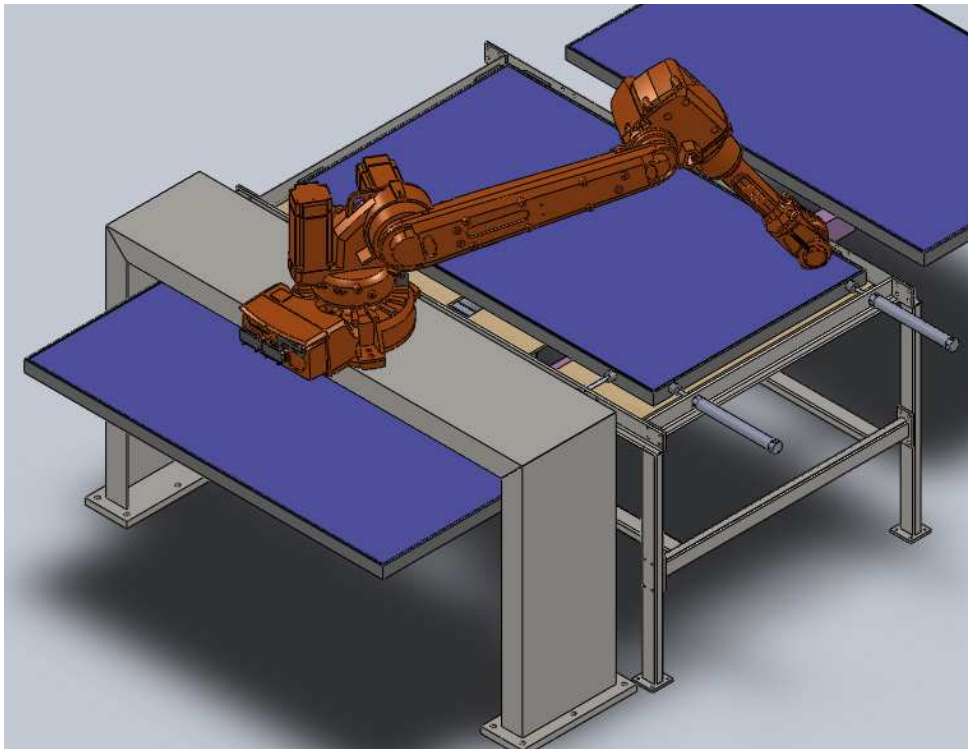


Abbildung 43 Verfugestation mit Roboter

8.3.5 Entscheidung

Die Zwei-Achs-Einheit wird für die Weiterentwicklung der Arbeitsstation verwendet. Ein Hauptgrund für diese Entscheidung war der Unterschied bei den Investitionskosten. Diese sind gegenüber der Roboterausführung um ca. 40% niedriger. Der Bewegungsablauf kann mit beiden Varianten ausgeführt werden. Als zusätzlicher Vorteil hat sich die Anbringung des Dosierkopfs an dem Achssystem ohne Drehbewegung herausgestellt. Dies wirkt sich positiv auf die Lebensdauer des Schlauchs der Dosieranlage aus.

8.4 2D-Laser Messsystem

8.4.1 Grundlagen des Messsystems

Das ausgewählte 2D-Lasermesssystem arbeitet nach dem Triangulations-Prinzip. In der nachfolgenden Abbildung ist dieses mit einem 1D-Messkopf dargestellt. Der ausgesendete Laserstrahl wird durch die Senderlinse auf das Messobjekt gebündelt. Dadurch wird eine genaue Messung innerhalb des Messbereichs ermöglicht. Der Laserstrahl wird

von dem zu messenden Objekt reflektiert. Durch die Empfängerlinse wird dieser Strahl auf das Lichtaufnahmeelement fokussiert. Durch eine Veränderung des Abstands zwischen dem Messkopf und der Messoberfläche fällt der Laserstrahl in einem anderen Winkel ein und am Lichtaufnahmeelement bildet sich dieser an einer anderen Stelle ab. (Keyence, 2010, S. 2)

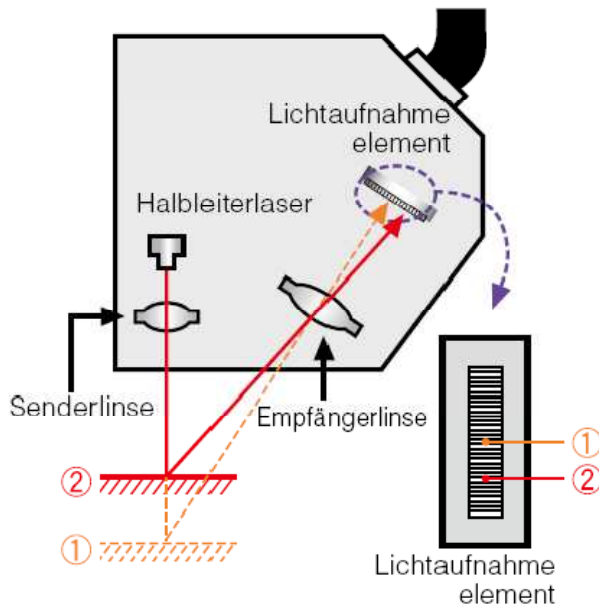


Abbildung 44 Messprinzip (Keyence, 2010, S. 2)

Zum Erreichen einer hohen Messgenauigkeit ist eine gleichmäßig abgebildete Lichtaufnahmeekurve wichtig. Um einen gleichbleibenden Lichtpunktdurchmesser am Lichtaufnahmeelement auch bei verändertem Messabstand zu erreichen, ist eine entsprechende Konstruktion der Empfängerlinse notwendig. Einen weiteren wesentlichen Einfluss hat die empfangene Lichtmenge. Diese hängt vor allem von der Oberflächenbeschaffenheit, der Farbe und dem Material des Messobjekts ab. (Keyence, 2010, S. 2 f)

Um ein zweidimensionales Abbild der Messoberfläche ermitteln zu können, wird der Laserstrahl von der Senderlinse aufgeweitet. Dadurch kann eine lineare Abbildung der Oberfläche an das Aufnahmeelement reflektiert werden. Durch eine besondere Ausführung der Empfängerlinse kann in einem größeren Bereich des Messabstands eine gute Fokussierung erreicht werden.

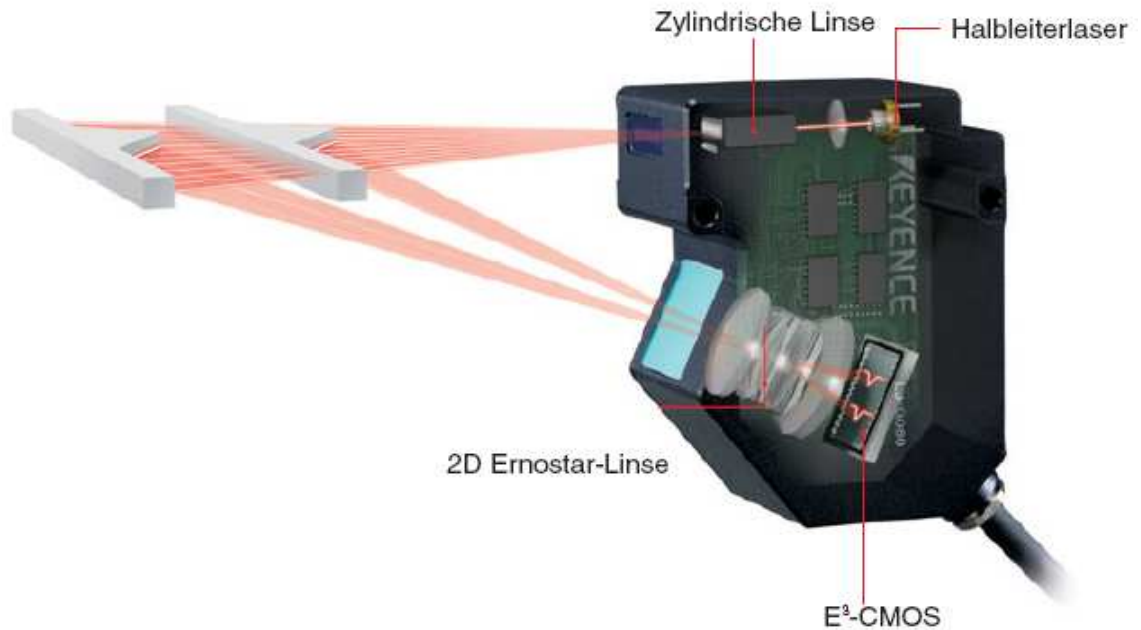


Abbildung 45 Aufbau 2D-Lasermesskopf (Keyence, 2008, S. 28)

8.4.2 Messung der Fuge

Im aktuellen Anwendungsfall setzt sich der zu vermessende Bereich aus drei unterschiedlichen Materialien zusammen. Der eloxierte Aluminiumrahmen und die Vergussmasse werden keine Probleme bei der Messung bereiten. Probleme bei der Vermessung der Fuge können aber durch das Laminat verursacht werden.

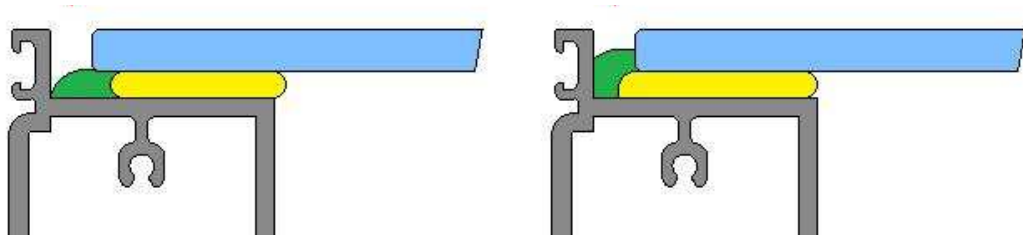


Abbildung 46 Querschnitt zum Vermessen

Das Laminat ist wie ein Verbund aus verschiedenen Materialien. Die Oberfläche des Laminats wird durch das Solarglas gebildet. Bei diesem Glas handelt es sich um ein spezielles eisenoxidarmes Glas mit sehr hohen Transmissionswerten. Dadurch wird nur ein sehr geringer Anteil des einfallenden Lichtes an der Glasoberfläche reflektiert, wodurch mehr Strahlung auf die Solarzelle trifft, die zur Energieerzeugung genutzt werden kann. Zusätzlich wird bei den meisten Modulen die Glasoberfläche strukturiert, wo-

durch nochmals mehr Licht zur Zelle geleitet wird. Die eingesetzte Schmelzfolie im Laminat hat eine sehr hohe Transparenz. Erst durch die Rückseitenfolie wird das Laminat blickdicht abgeschlossen. Bei der Vermessung der Fuge muss die Glasoberfläche zur Bildung der Bezugsfläche und Auswertung der Fugenhöhe ermittelt werden.

Um von einem transparenten Messobjekt ausreichend Reflektion zu erreichen, soll in diesem Fall der Sensor so angebracht werden, dass der Laserstrahl schräg auf die Oberfläche auftrifft. Dadurch kann eine Reflektion von der Oberfläche des Objekts erfasst werden. Die Rückseite des Laminats ist für den Laserstrahl nicht durchlässig und es ergibt sich eine weitere Reflektion. Ein solcher Anwendungsfall ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Es werden bei dieser Materialpaarung zwei Messsignale empfangen. Die Auswerteeinheit bildet entsprechend der Einstellungen aus dem ersten Messsignal der Glasoberfläche die Bezugsfläche.

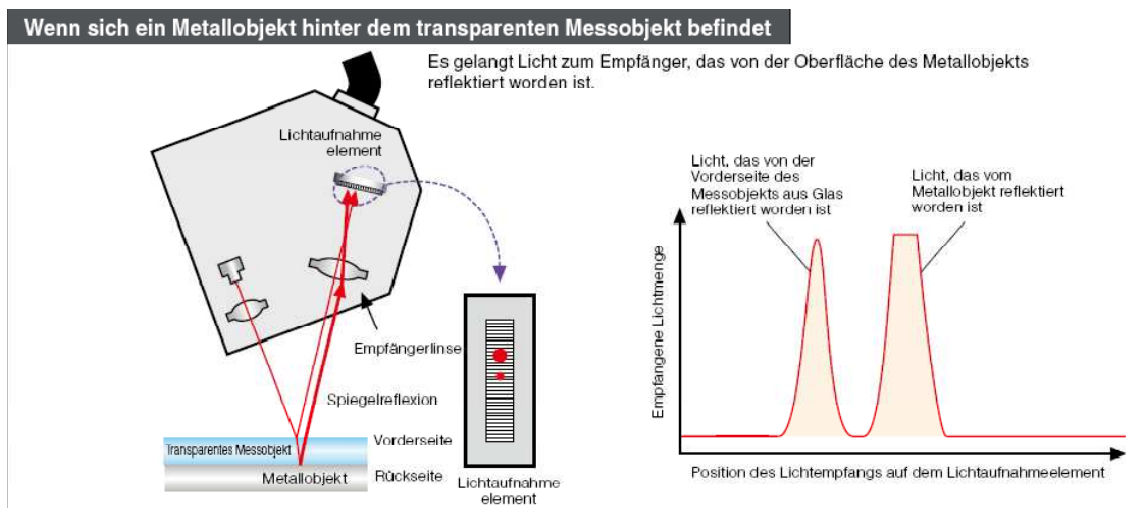


Abbildung 47 Messergebnis bei Glas (Keyence, 2010, S. 9)

Nach entsprechenden Tests des Herstellers kann eine Vermessung der Fuge mit diesem Gerät durch eine leichte Schrägstellung des Messkopfs zur Laminatoberfläche ermöglicht werden.

8.4.3 Auswertung der Messdaten

Mit der Auswertesoftware des Messsystems können die relevanten Profilpunkte ermittelt werden. Sie verarbeitet die aufgenommenen Daten des 2D-Lasermesskopfs. Aus diesen Daten wird wiederum ein Querschnittsabbild ermittelt. Die Querschnittsfläche wird dann durch zwei ausgewählte Punkte an der Referenzkontur und der aufgenommenen Profillinie ermittelt. Die Referenzfläche wird im ausgearbeiteten Anwendungsfall durch jeweils einen Referenzpunkt am Aluminiumsteg und an der Glasoberfläche gebildet.

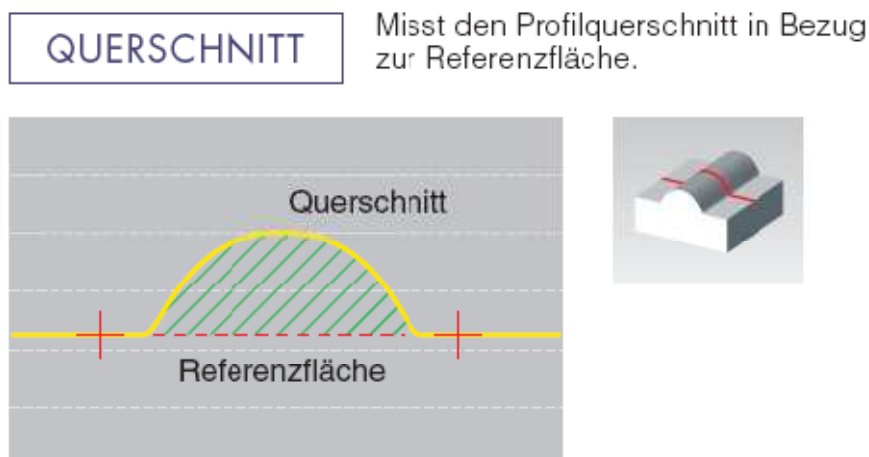


Abbildung 48 Auswertung von Messdaten (Keyence, 2008, S. 30)

In der nachfolgenden Abbildung ist ein Messergebnis dargestellt. Hierbei wurde eine Nut in einem Aluminiumprofil vermessen. Als Referenzprofil wurde die Nut hinterlegt. Nach dem Einbringen einer Dichtung wurde eine Messung vorgenommen und die Querschnittsänderung bezogen auf den Referenzquerschnitt (rechte Abbildung) ermittelt. Der ermittelte Querschnitt kann von der Auswerteeinheit an eine Steuerung übergeben werden.

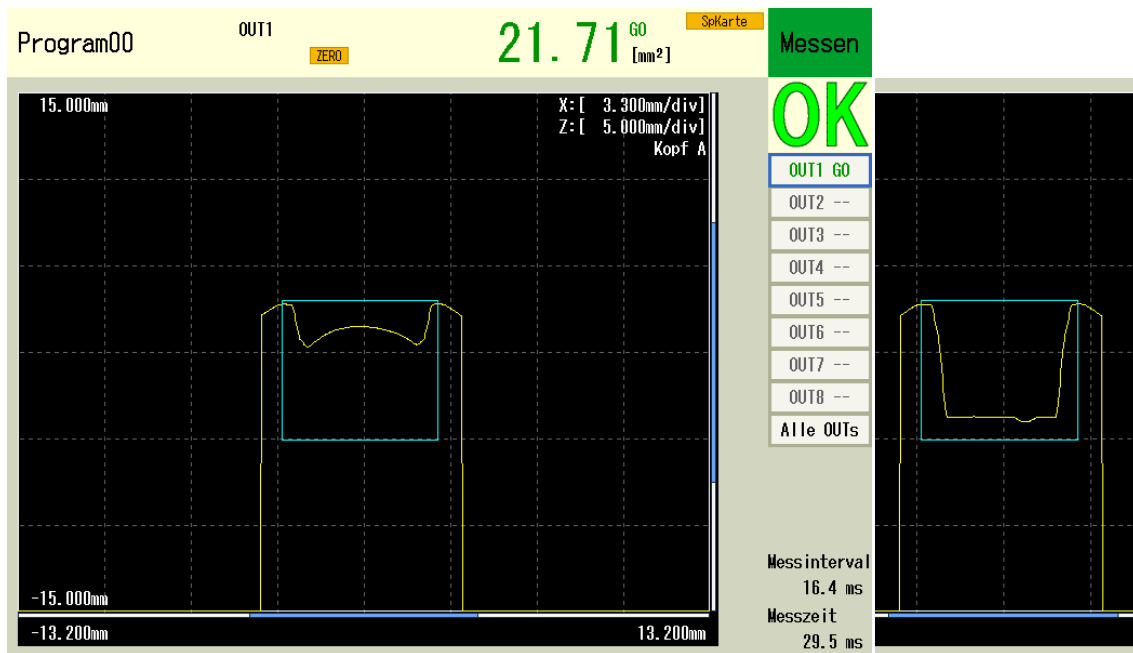


Abbildung 49 Messung einer Aluminiumnut

Die Messeinheit kann entweder ein binäres Signal (Gut oder Schlecht) bezogen auf hinterlegte Werte oder auch den Messwert direkt ausgeben. In beschriebenen Anwendungsfall wird die ermittelte Querschnittsfläche verwendet. Diese Daten müssen in der Steuerung in Spannungswerte für die Ansteuerung der Förderleistung der Dosieranlage umgewandelt und zur aktuellen Position des Messkopfs gespeichert werden. Die Ausgabe an die Dosieranlage erfolgt erst beim nächsten Abfahren der Fugen und dem endgültigen Verfüllen dieser.

8.4.4 Auswahl des Messsystems

Um die Fuge vollständig vermessen zu können, muss der ausgewählte Messkopf mindestens die Tiefe der Fuge (9 mm) abdecken. Die Messbreite soll der Fugenbreite plus einer Toleranz von ca. 2 mm und einem weiteren Bereich zum Erfassen des Höhenniveaus der Laminatoberseite entsprechen. Sie soll also mindestens 15 mm betragen. In der folgenden Abbildung sind die angebotenen Modelle dargestellt.

MODELLREIHE LJ-G AUSWAHLEITFADEN

Typ	Spiegelreflexion mit ultrahoher Präzision	Ultrahohe Präzision	Hohe Präzision
Modell	LJ-G015K	LJ-G015	LJ-G030
(mm)			
250			
200			
150			
100			
50			
Messbereich	Z-Achse 15 ± 2,3 mm X-Achse 7 mm	Z-Achse 15 ± 2,6 mm X-Achse 7 mm	Z-Achse 30 ± 10 mm X-Achse 22 mm
Wiederholgenauigkeit	Z-Achse 0,2 µm X-Achse 2,5 µm	Z-Achse 0,2 µm X-Achse 2,5 µm	Z-Achse 1 µm X-Achse 5 µm

Abbildung 50 Modelle des 2D-Lasermesssystemes (Keyence, 2008, S. 4)

Es wird das Modell LJ-G030 ausgewählt. Um die Fugenkontur aufnehmen zu können, muss der Messkopf schräg in einem Abstand von ca. 30 mm zur Glasoberfläche geführt werden.

8.5 Konstruktion

8.5.1 Konstruktion Modulzentrierung

Die Modulzentrierung wird nicht eigens konstruiert. Es wird hierfür die selbe Zentrierung verwendet, die auch den Rahmen in der Klebestation positioniert.

Da bei dieser Positionierung des Moduls auch Querkräfte auf die Kolben der Zylinder übertragen werden, mussten diese stärker ausgeführt werden. Der umlaufende Rahmen zur Aufnahme der Zylinder und Anschläge ist daher höher ausgeführt. Dieser ragt 24 mm über die Moduloberfläche hinaus. Dies muss bei der Konstruktion der Aufnahmen

für den Mess- und Dosierkopf beachtet werden. Die Anschlagenelemente schließen knapp unterhalb der Moduloberfläche ab.

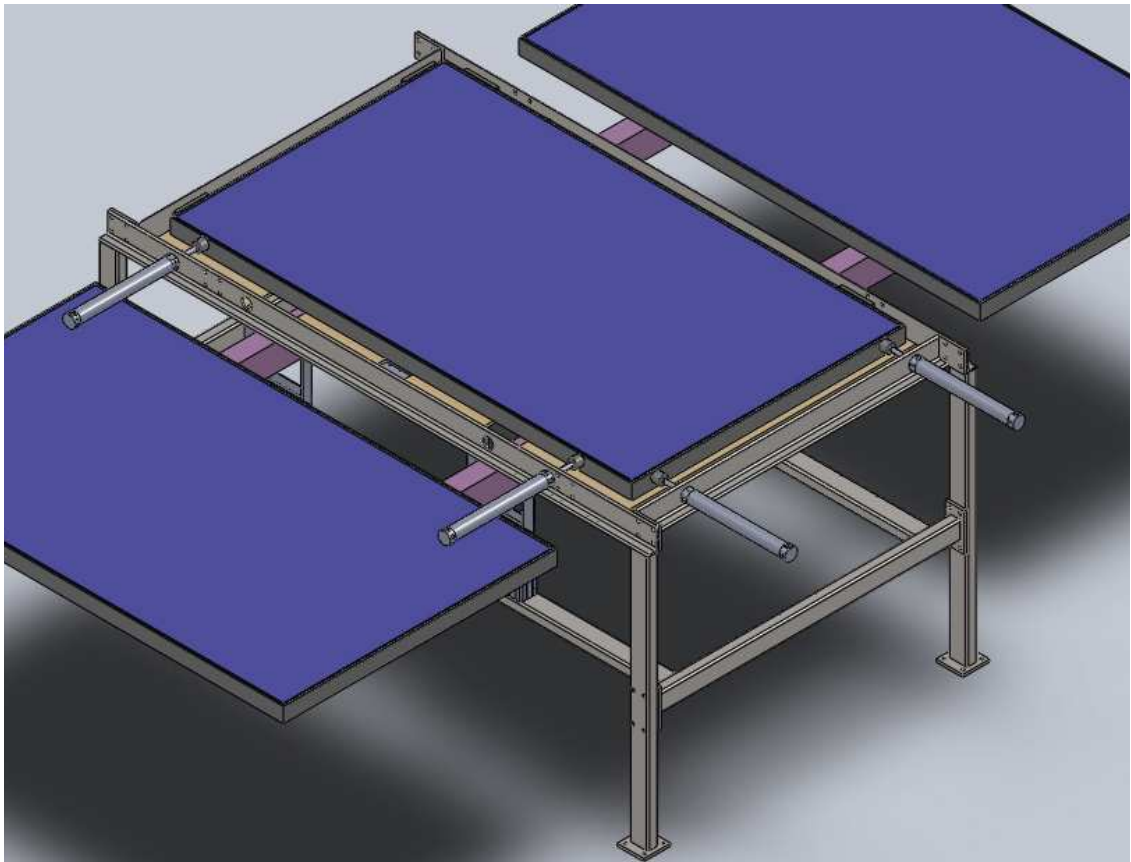


Abbildung 51 Modulzentrierung

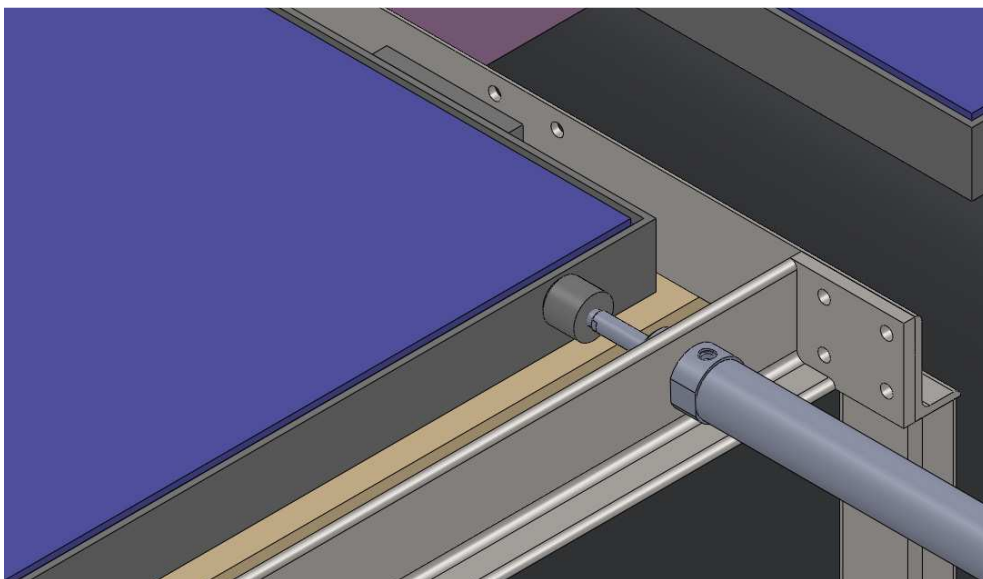


Abbildung 52 Detail Anschlagsituation

8.5.2 Konstruktion Handhabungseinrichtung

Als Handhabungseinrichtung wird die ausgewählte Zwei-Achs-Einheit verwendet. Die kompletten Daten wurden vom Hersteller übermittelt.

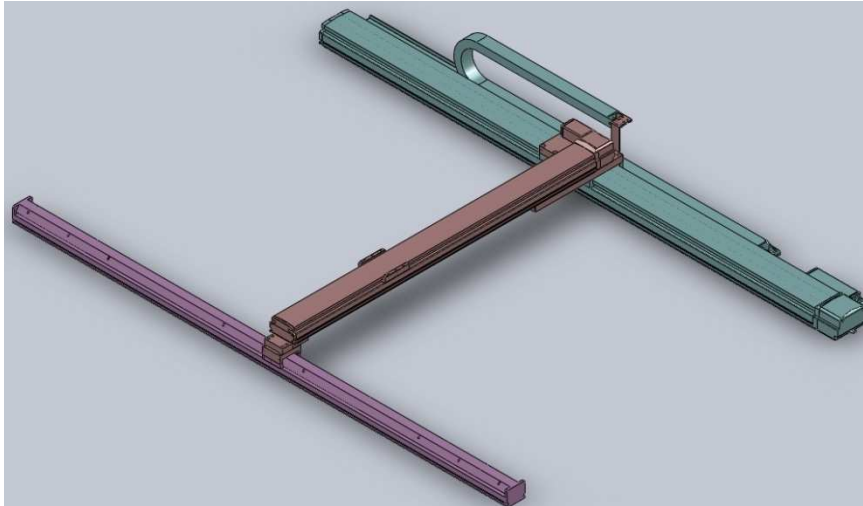


Abbildung 53 Zwei-Achs-Einheit

Die Unterkonstruktion für die Achseinheit wird eigenständig erstellt. Die Handhabungseinrichtung wird an den vorgesehenen Befestigungspunkten verschraubt. Hierfür wird eine Trägerkonstruktion über der Förderstrecke angefertigt, die die X-Achse und die parallele Führungsschiene unterstützen.

- Montage der Antriebe durch die Bohrungen in der Unterseite der X-Achse (Antriebswelle / Abtriebswelle).
- G1JH (Antriebswelle) : $\varnothing 9$ (S. 30 ISA-LXUWX Siehe untere Abbildung.)
(Abtriebswelle) : $\varnothing 7$ (S. 15 ISA-SXM Siehe untere Abbildung.)
- G2JH (Antriebswelle) : $\varnothing 9$ (S. 30 ISA-LXUWX Siehe untere Abbildung.)
(Abtriebswelle) : $\varnothing 7$ (S. 15 ISA-SXM Siehe untere Abbildung.)

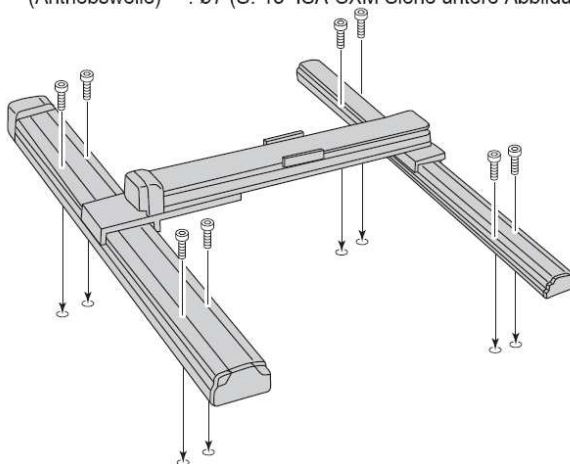


Abbildung 54 Befestigung Achseinheit (Schlüter, 2010, S. 23)

Die Unterkonstruktion setzt sich aus den seitlichen Aufnahmerahmen als Schweißkonstruktion und den jeweiligen Aufnahmeprofilen für die Zwei-Achs-Einheit zusammen. Diese Profile sind aus Trägerprofilen, die an den Auflageflächen abgefräst werden.

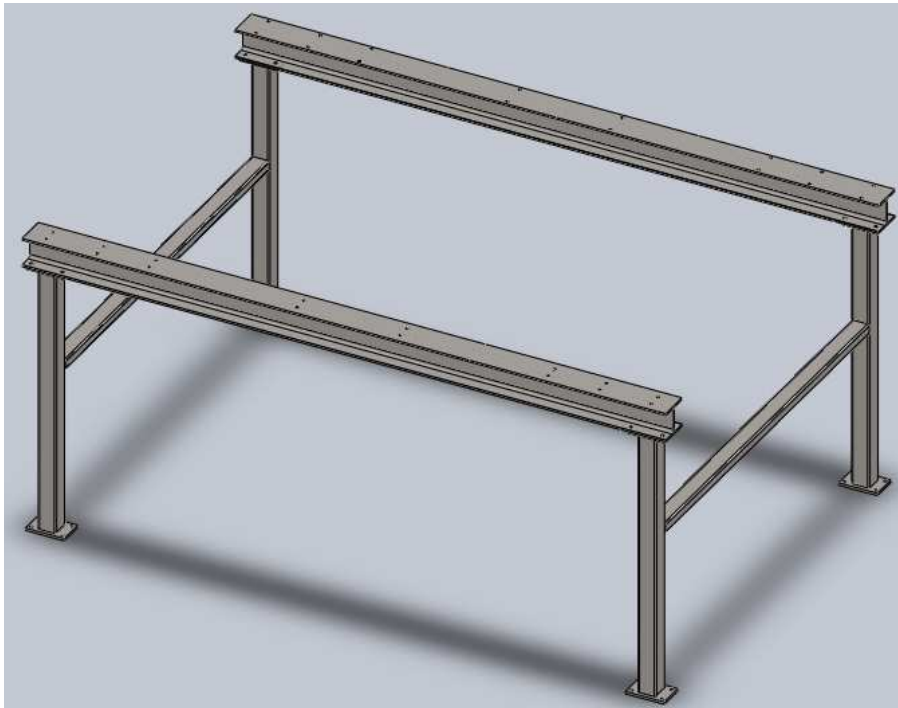


Abbildung 55 Unterkonstruktion Handhabungseinrichtung

8.5.3 Konstruktion Aufnahme

An der Aufnahmekonstruktion werden der Lasermesskopf mit der Drehachse und die Dosiereinheit befestigt. Die Aufnahme selbst wird am Achsschlitten der Y-Achse des Achssystems befestigt. Die Befestigungspunkte am Schlitten befinden sich an der Oberseite der Achse und es muss eine entsprechende Konstruktion zur Befestigung an der Unterseite ausgestaltet werden.

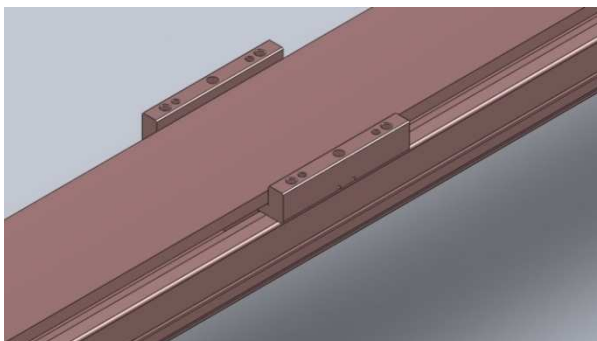


Abbildung 56 Aufnahmeschlitten Y-Achse

Der 2D-Lasermesskopf wird an der Drehachse befestigt und in einem Winkel von ca. 20° angebracht. Um den Bewegungsablauf einfach gestalten zu können, wird der Messpunkt auf die Achse der Dreheinheit gelegt. Das Übertragungskabel wird durch die Hohlwelle des Drehmoduls geführt. Der Abstand des Messkopfs zur Moduloberfläche ergibt sich aus dem Messbereich des Sensors. Der tiefste Punkt des Messkopfs ist immer noch über dem Rahmen der Zentriereinheit, damit kein vertikaler Hub erforderlich ist. Dieser Teil der Aufnahme ist in folgender Abbildung dargestellt.

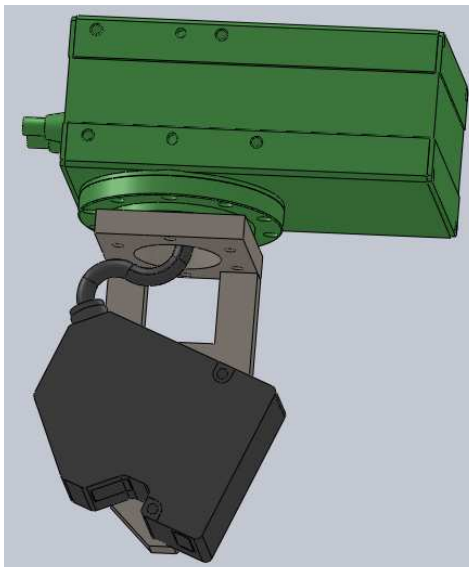


Abbildung 57 Aufnahme 2D-Messkopf

Da der Auslass der Dosiereinrichtung zum Einbringen der Vergussmasse viel näher an die Moduloberfläche herangeführt werden muss, muss diese eine Bewegung in Z-Richtung ausführen. Hierfür wird ein pneumatischer Kompaktschlitten eingesetzt, womit eine Auftragsposition der Dosierdüse (ca. 2 mm oberhalb der Moduloberfläche) und die Ruheposition (über 24 mm) abgebildet werden muss. Der Abstand des Mess- und Auftragskopfes soll möglichst gering gehalten werden, da andernfalls eine längere Linearachse erforderlich wird. Die Auswahl der Dosieranlage wird in Punkt 8.7 genauer beschrieben, in der Konstruktion wird hier der Auftragskopf der Firma Robatech eingesetzt. Dieser wird am Kompaktschlitten montiert.

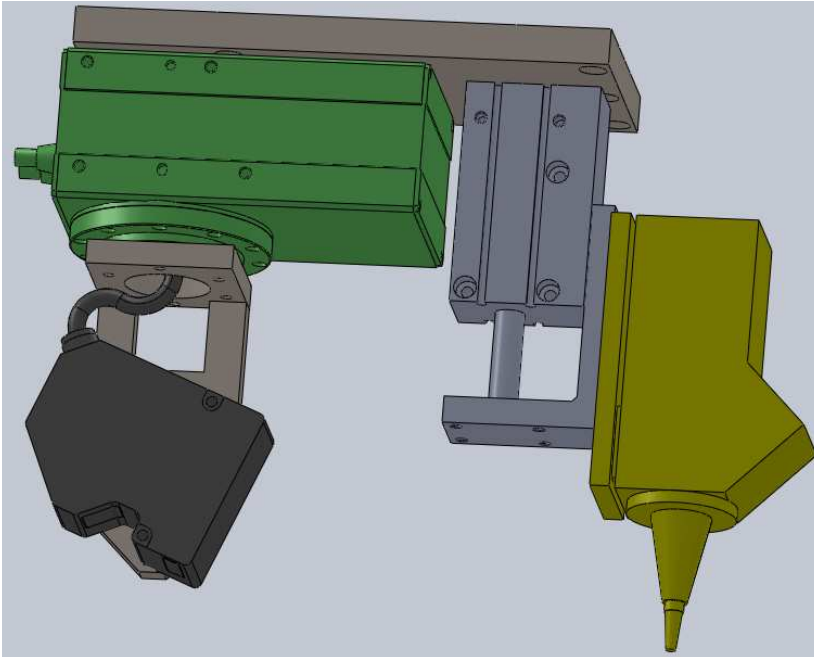


Abbildung 58 Aufnahme 2D-Mess- und Dosierkopf

Die Aufnahmeplatte der Köpfe wird an der Unterseite der Y-Linearachse positioniert. Zur Verschraubung mit dem Achsschlitten wird eine Konstruktion aus Aluminium angefertigt. Hierbei soll auch auf die mögliche Verlegungsposition der elektrischen und pneumatischen Leitungen, aber auch des Dosierschlauchs geachtet werden. Diese können an den Seiten der Aufnahme befestigt werden. Die weitere Führung dieser Leitungen erfolgt über eine Aufhängung von der Hallendecke. Es soll auf eine möglichst geringe Schlauchlänge der Dosieranlage geachtet werden, um die Reaktionszeiten des Dosiersystems gering zu halten.

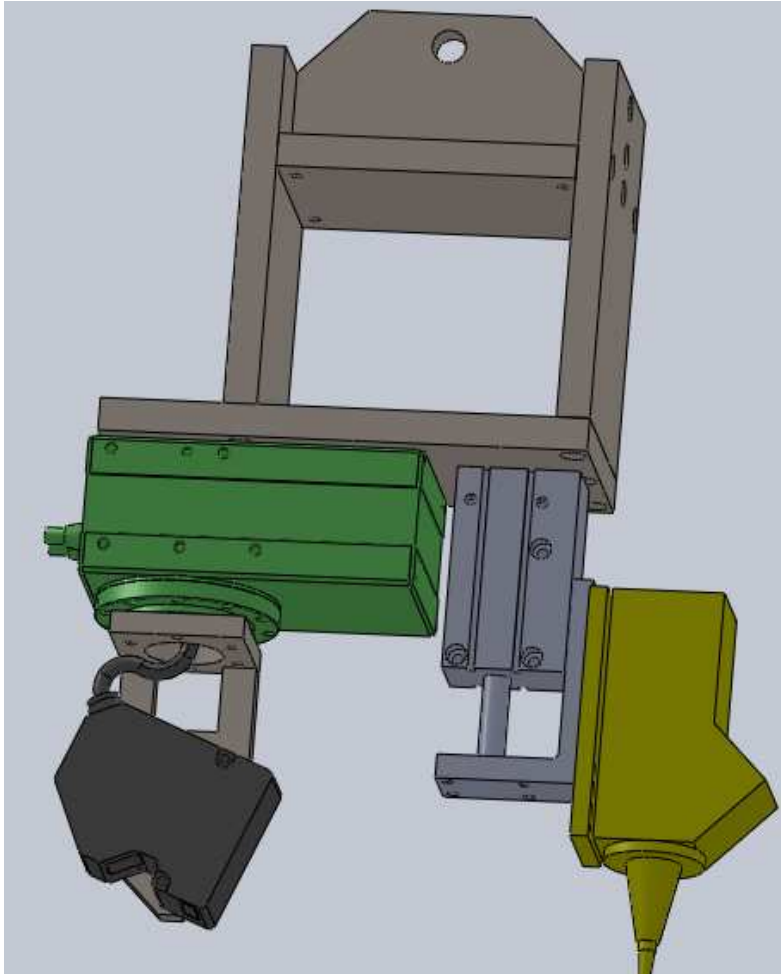


Abbildung 59 Gesamtaufnahme

8.5.4 Gesamtkonstruktion

Die Gesamtkonstruktion setzt sich wiederum aus den vorher beschriebenen Einzelelementen zusammen. In nachfolgender Abbildung wird die automatische Arbeitsstation inklusive der Module und der Förderstrecke dargestellt.

Durch die Anordnung des Dosierkopfs an der vorderen Seite kann dieser zur Wartung und Reinigung mit der Lineareinheit nach vorne außerhalb des Moduls gefahren werden. Damit können diese Arbeiten auch einfach durchgeführt werden. Die gesamte Arbeitsstation wird mit einem Schutzzaun eingehaust und darf nur durch eine Schutztüre zur Wartung der Düse betreten werden. Nach längeren Standzeiten wird auch an dieser Position die schon ausgehärtete Vergussmasse in einen untergestellten Ausschussbehälter abgelassen.

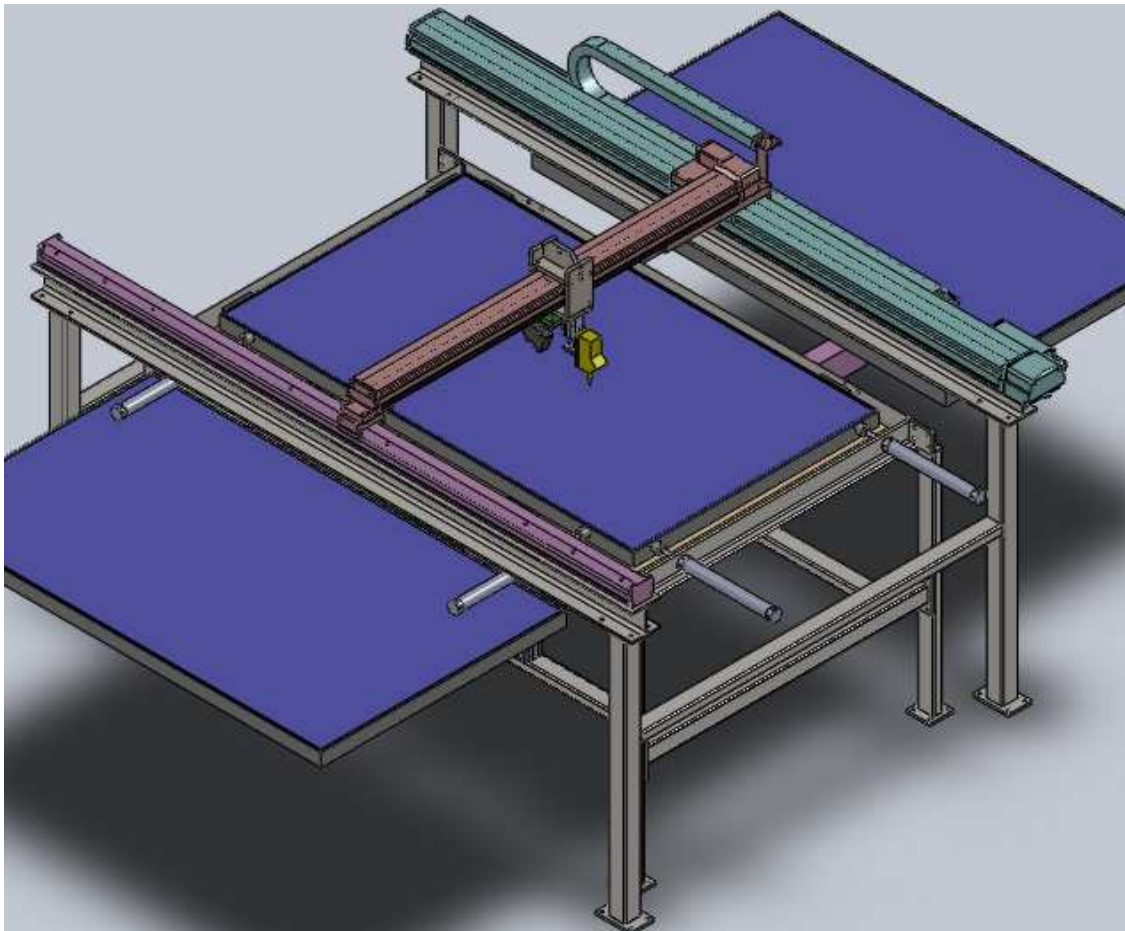


Abbildung 60 Automatische Arbeitsstation

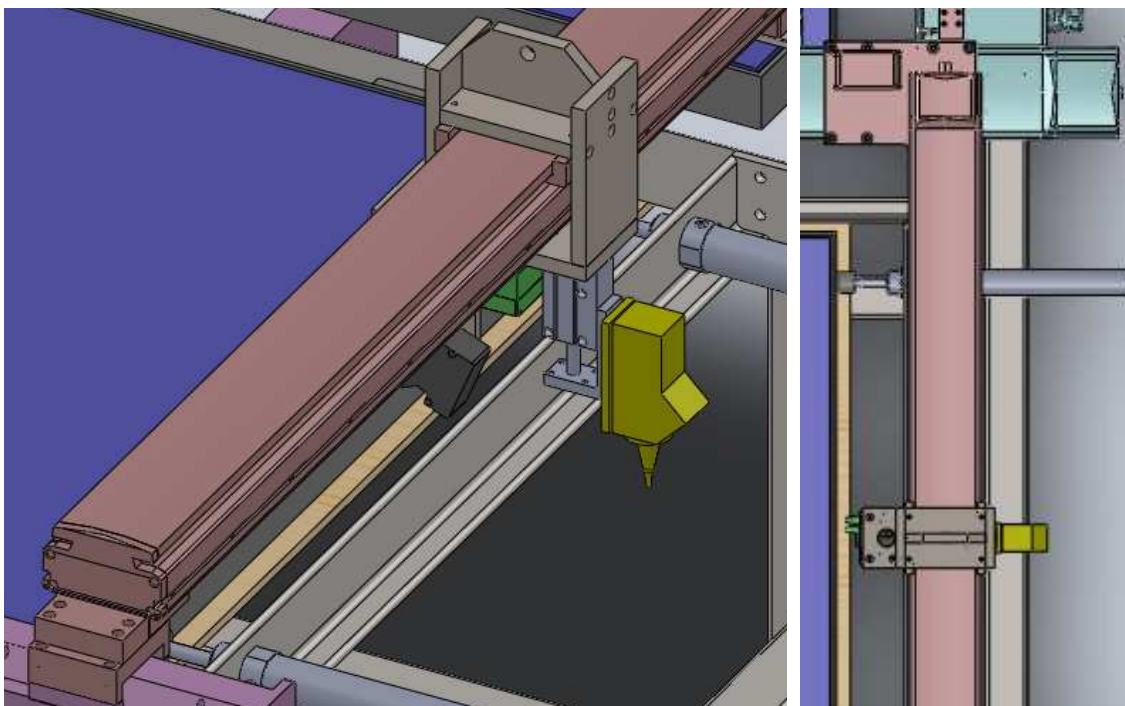


Abbildung 61 Wartungsposition Dosierkopf

8.6 Steuerung

Die Aufgaben der Steuerung können in einzelne Schritte mit unterschiedlicher Komplexität aufgeteilt werden. Dies sind die Steuerung

- der Modulzentrierung,
- des Bewegungsablaufs der Handhabungseinrichtung,
- des Messvorgangs inklusive der Speicherung und Übersetzung der gemessenen Daten und
- der Fördermenge der Dosieranlage.

Für die Modulzentrierung müssen nur die Hubzylinder das Modul anheben und damit in den Zentrierrahmen heben. Im nächsten Schritt fahren die Zentrierzylinder aus und positionieren das Modul.

Das Abfahren der Fuge wird von der Steuerung der Zwei-Achs-Einheit übernommen. Hierbei müssen zwei unterschiedliche Programme hinterlegt werden. Ein Programm ist für die Einbringung der Vergussmasse zuständig. Beim zweiten hinterlegten Bewegungsablauf muss zusätzlich zum Abfahren der Fuge eine Drehung des Messkopfs durchgeführt werden, damit alle Messdaten ermittelt werden können. Um die anderen Steuerungsaufgaben möglichst einfach zu halten, werden alle Bewegungsabläufe mit der gleichen Geschwindigkeit ausgeführt.

Die vom 2D-Messsystem an die Steuerung übermittelten Querschnittsdaten müssen in der Steuerung mit den dazugehörigen Positionen des Messkopfs abgelegt werden. Die ermittelten Querschnitte müssen auf Spannungswerte für die Steuerung der Fördermenge der Dosieranlage umgesetzt werden. Diese Übersetzung ist sehr wichtig für eine qualitativ hochwertige Verfüugung. Die Daten hierfür können ausschließlich durch umfangreiche Tests abgestimmt werden. Bis eine kontinuierliche Qualität erreicht werden kann, ergeben sich daraus aufwändige Einstell- und Anpassungsarbeiten.

Die theoretisch erforderliche Förderleistung der Dosieranlage kann aus dem gemessenen Querschnitt und der Verfahrgeschwindigkeit beim Verfugen ermittelt werden. Um entsprechende Zeitreserven im Arbeitsablauf zu haben, wird eine Verfahrgeschwindigkeit von 100 mm/s angestrebt. Damit kann die Förderleistung der Anlage bei entsprechenden gemessenen Querschnitten ermittelt werden. Für die Beispielrechnung wird ein geringer teilverfugter Spalt herangezogen.

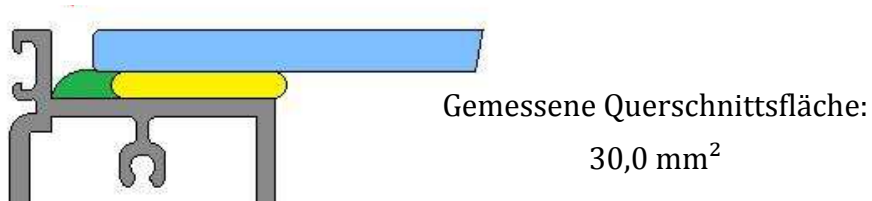


Abbildung 62 Teilverfugter Querschnitt

$$A_{gem} = 30,0 \text{ mm}^2$$

A_{gem} ... gemessener Querschnitt

$$v = 100 \text{ mm/s}$$

v ... Verfahrgeschwindigkeit Dosierkopf

$$\dot{V}_D = A_{gem} \times v$$

$$\dot{V}_D = 30,0 \text{ mm}^2 \times 100 \text{ mm/s} = 3000 \text{ mm}^3/\text{s} = 180 \text{ cm}^3/\text{min}$$

\dot{V}_D ... Fördervolumen der Dosieranlage

$$\dot{m}_D = \dot{V}_D \times \rho_F$$

$$\dot{m}_D = 180 \text{ cm}^3/\text{min} \times 1,4 \text{ g/cm}^3 = 252 \text{ g/min}$$

\dot{m}_D ... Fördermasse der Dosieranlage

Dieses Fördervolumen wird als maximal erforderliche Menge angenommen und wird zur Auswahl einer Dosieranlage herangezogen. Die benötigte Fördermenge kann in einem großen Bereich schwanken, was in der folgenden Tabelle angedeutet ist.

<i>gemessener Querschnitt</i> $A_{gem} [mm^2]$	<i>Verfahrgeschwindigkeit</i> $v [mm/s]$	<i>Fördervolumen der Dosieranlage</i> $\dot{V}_D [cm^3/min]$
30,0	100	180
25,0	100	150
20,0	100	120
15,0	100	90
10,0	100	60

Tabelle 14 Fördervolumen nach ermittelten Querschnitten

Die Steuerung der Fördermenge erfolgt über Spannungswerte an die Dosieranlage. Beim ersten Abfahren der Fuge und dem Teilverfugen wird die Pumpe mit einem gleichbleibenden Spannungswert angesteuert. Dieser wird bei den ersten Versuchen entsprechend angepasst. Bei der endgültigen Verfüllung der Fuge gestaltet sich die Fördermengensteuerung schwieriger. Dabei muss der ermittelte Spannungswert entsprechend der aktuellen Position des Dosierkopfs an die Pumpe übergeben werden. Es muss auch eine eventuelle Verzögerung berücksichtigt werden, da sich eine Änderung der Pumpenförderleistung erst nach kurzer Zeit am Auslassventil bemerkbar machen kann. Hierauf haben auch der Schlauch und die Viskosität der Vergussmasse einen wesentlichen Einfluss. Besonders schwierig gestaltet sich die Ausbildung der Fuge am Start- und Endpunkt der Einbringung.

Die Steuerung der automatischen Arbeitsstation gestaltet sich als schwierig. Es muss auch mit einem hohen Testaufwand zur Einstellung gerechnet werden.

8.7 Dosieranlage

Bei der automatischen Arbeitsstation werden viel höhere Anforderungen an die Dosiergenauigkeit gestellt. Der Dosierkopf wird am pneumatischen Kompaktschlitten befestigt. Die Förderleistung der Anlage wurde in Punkt 8.6 ermittelt und sollte über 180 cm³/min betragen.

Die angebotene Dosieranlage von Dopag für die manuelle Arbeitsstation kann auch für den automatischen Ablauf mit entsprechenden Anpassungen eingesetzt werden. Dies ist ein großer Vorteil dieser Pumpenausführung, da es der Forderung nach einem späteren Umbau auf die automatische Arbeitsstation sehr entgegen kommt. Dafür wird eine zusätzliche Zahnradpumpeneinheit eingesetzt. Dabei wird die Vergussmasse aus dem Behälter mit der Kolbenpumpe in einen Vorratsbehälter gefördert, aus diesem wird dann das Material mit der Zahnradpumpe mit sehr genauen Fördermengen an den Dosierkopf weitergefördert. Diese Dosieranlage stellt auch die günstigste Variante dar, es kann aber erst nach Tests der Anlage oder genaueren Abklärungen mit dem Hersteller die Eignung dieser Pumpe für die geforderte Aufgabe nachgewiesen werden.

Als weitere Dosieranlage für diese Anforderung wurden auch noch bei den Firmen Robatech und Netsch nachgeforscht. Diese Hersteller bieten Dosieranlagen zur Behälterentleerung mit Zahnradpumpen an. Damit kann eine genaue Dosierung ohne zusätzliche Einheiten ermöglicht werden. Diese Anlagen sind immer noch teurer als die Ausführung mit der Dopag Anlage.

In der Kalkulation wird die günstigste Dosieranlage verwendet. In der Konstruktion wird der Dosierkopf von der Robatech Anlage verwendet, da dieser die größten Abmessungen besitzt. Die anderen Dosierköpfe können mit einer zusätzlichen Adapterplatte am Schlitten des Kompaktzylinders befestigt werden.

9 Vergleich der manuellen und automatischen Arbeitsstation

9.1 Bewertung

Die ausgearbeiteten Varianten der Arbeitsstation zum Verfügen wurden schon im Vorfeld ausführlich beschrieben. Aus diesem Grund werden hier nur noch die Vor- und Nachteile gegenübergestellt.

Vorteile	Nachteile
manuelle Arbeitsstation	
geringer Aufwand für die Konstruktion und Steuerung	höhere laufende Kosten
sehr geringe Anlagenkosten	erhöhter Mengenbedarf der Vergussmasse
qualitativ hochwertiges Endprodukt	direkt abhängig vom Mitarbeiter
automatische Arbeitsstation	
qualitativ hochwertiges Endprodukt	hoher konstruktiver Aufwand
positionsabhängige angepasste Vergussmassenmenge	hohe Investitionskosten
geringe laufende Kosten	komplizierte Steuerung der Dosieranlage
	erheblicher Einstellaufwand bis zur Erreichung eines hochwertigen Ergebnisses

Tabelle 15 Vergleich der ausgearbeiteten Varianten

9.2 Kostenvergleich

Eine weitere wichtige Bewertungsgrundlage stellen die Investitionskosten in die Arbeitsstation dar. Für den Großteil der Komponenten wurden entsprechende Angebote eingeholt und für einige Elemente bestehen bereits Kosten aus anderen Teilen der Fertigungsanlage. Die restlichen Investitionen wurden in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der Firma Metallbau Nocker geschätzt. Die ermittelten oder geschätzten Summen wurden in die nachfolgende Tabelle übernommen.

Elemente \ Variante	manuelle Arbeitsstation	automatische Arbeitsstation
Pneumatikelemente	€ 460,20	€ 1400,40
Stahlbauteile (Rohmaterial)	€ 120,00	€ 600,00
Fertigung und Montage	€ 885,00	€ 1.530,00
Dosieranlage	€ 12.810,00	€ 20.810,00
Verfahreinheit	€ 0,00	€ 19.471,00
Messsystem	€ 0,00	€ 11.331,00
Steuerung und Programmierung	€ 150,00	€ 1.300,00
Einstellaufwand	€ 0,00	€ 3.465,00
sonstige Materialien	€ 495,00	€ 380,00
Anlagenkosten	€ 14.802,20	€ 60.287,40

Tabelle 16 Anlagenkosten der Arbeitsstation

Es ergibt sich ein großer Unterschied in den Investitionskosten für die Arbeitsstation. Die laufenden Kosten fallen aber bei der teureren automatischen Variante geringer aus, wodurch für eine aussagekräftige Bewertung auch diese verglichen werden müssen.

Die manuelle Arbeitsstation muss durchgehend mit einem Mitarbeiter zur Ausführung der Arbeiten besetzt sein. Für die überhöhte Verfüllung der Fuge muss auch ein entsprechender Ausschuss an Vergussmasse eingeplant werden. Hierfür wird ein Wert von +10% für den Kostenvergleich angenommen.

Bei der automatischen Arbeitsstation muss nach entsprechenden Zeiten der Behälter der Vergussmasse gewechselt werden. Zudem muss nach längeren Stillstandzeiten die Auslassdüse gewechselt oder gereinigt werden. Es wird angenommen, dass diese Arbeiten vom gleichen Mitarbeiter ausgeführt werden können, der auch den Wechsel des Heißklebers und die Überwachung der Klebestation übernimmt.

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten variablen Kosten der Arbeitsstation zum Verfugen verglichen. Hierzu zählen die Personalkosten und der Materialbedarf.

Kostenfaktor \ Variante	manuelle Arbeitsstation	automatische Arbeitsstation
Personalkosten	2,03 €/Modul	1,02 €/Modul
Materialkosten Vergussmasse	2,33 €/Modul	2,12 €/Modul
variable Kosten	4,36 €/Modul	3,14 €/Modul

Tabelle 17 Variable Kosten des Verfugens

Die laufenden Kosten der automatischen Arbeitsstation sind um 1,22 €/Modul geringer, wodurch sich die automatische Arbeitsstation nach ca. 37.000 Modulen rechnet. Einige der aufgezeigten Kosten stellen nur Schätzwerte dar und müssen nochmals überprüft werden. Daher ergibt sich nur eine grobe Gegenüberstellung der Kosten.

10 Ausblick

Die Fertigungsanlage für die Produktion des neuen Moduls befindet sich schon im Aufbau. Das Verfugen ist mit der manuellen Arbeitsstation geplant, auch wird derzeit noch keine Dosieranlage für die Vergussmasse vorgesehen. Dies soll erstmals mit der Druckluftpistole erfolgen. Damit können die Investitionskosten in diesem Anlagenteil sehr gering gehalten werden. Auch der Hubtisch wird im eigenen Unternehmen angefertigt. Die daraus resultierenden höheren laufenden Kosten werden vorerst getragen. Genauere Aussagen über die Produktionszeiten und die Produktqualität können erst nach der Produktion der 0-Serie gemacht werden.



Abbildung 63 Foto der Fertigungsanlage

Ein Großteil der Fertigungsanlage wurde bis zum Abschluss dieser Arbeit schon umgesetzt. Auch die geplante manuelle Arbeitsstation zum Verfugen wurde angefertigt. Die Anbringung der benötigten Arbeitsmittel an dieser Station wird erst nach und nach an die Erfordernisse angepasst.

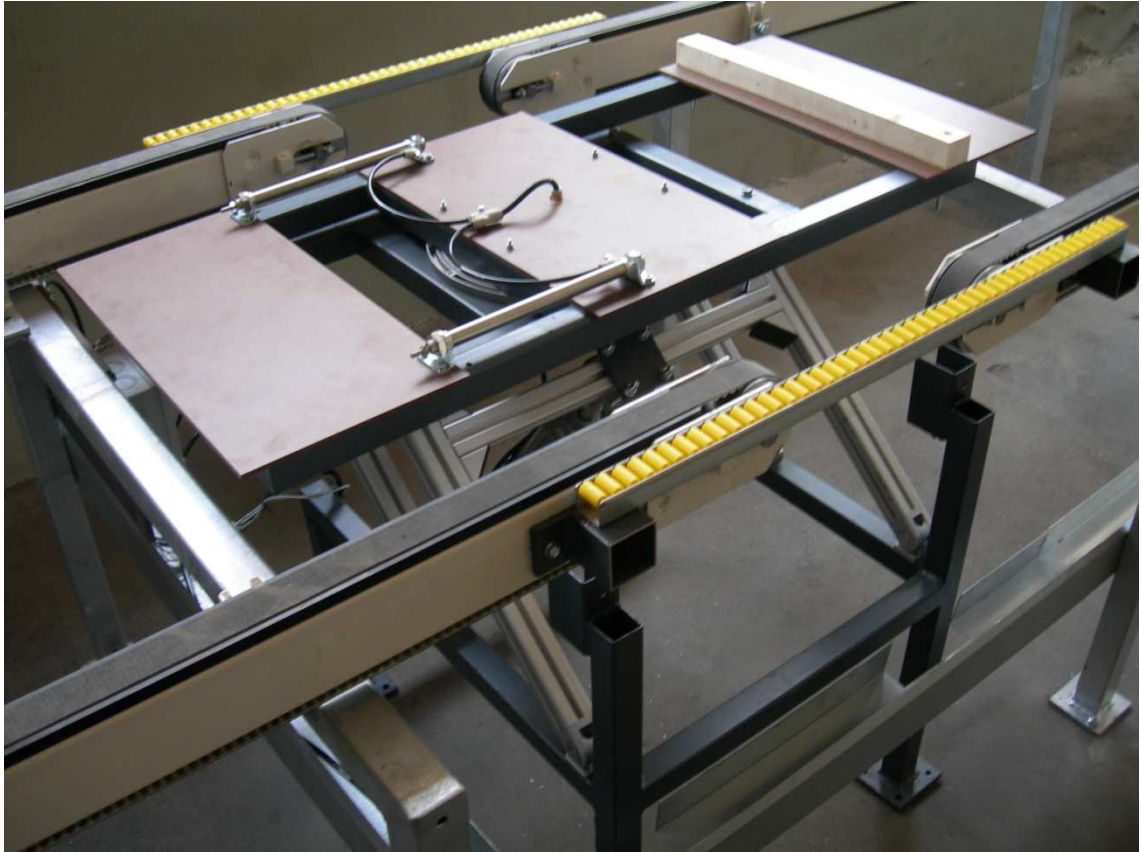


Abbildung 64 Foto der manuellen Arbeitsstation

Durch diese Arbeit sind sehr gute Grundlagen für die Auslegung der Arbeitsstation zum Verfugen erarbeitet worden. Auch für einen späteren Umbau auf die automatische Fertigung sind Daten ermittelt worden. Es ist dabei mit erheblichen Investitionskosten und hohem Einstellaufwand für die Automatisierung zu rechnen. Zudem müssen die möglichen Dosieranlagen nochmals auf ihre Eignung geprüft werden. Erst wenn eine genauere Prognose zu den zukünftigen Produktionszahlen abgegeben werden kann, wird eine genaue Wirtschaftlichkeitsrechnung dieser Arbeitsstation durchgeführt. Bis dahin sollten auch ausreichende Erfahrungswerte der manuellen Arbeitsstation vorhanden sein.

11 Literaturverzeichnis

ABB Automation GmbH. (2010). IRB 2600 Industrieroboter. Abgerufen am 10. Mai 2011 von Datenblatt: [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/5804eba918a4ec75c12577e600363c25/\\$file/datenblatt_irb2600_web.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/5804eba918a4ec75c12577e600363c25/$file/datenblatt_irb2600_web.pdf)

Aufbau eines Photovoltaikmoduls. (2011). Abgerufen am 22. April 2011 von: http://www.pi-tech.at/aufbau_eines_photovoltaikmoduls.html

Coronabehandlung. (November 2002). Abgerufen am 28. April 2011 von chemie.de
Coronabehandlung: <http://www.chemie.de/lexikon/Coronabehandlung.html>

DIN_EN_61215:1995. (Oktober 1996). Terrestrische Photovoltaik-(PV)Module mit Silizium-Solarzellen. Bauarteignung und Bauartzulassung .

Kawasaki. (Oktober 2010). Kawasaki Robots. Abgerufen am 25. April 2011 von Z-Serie: http://www.kawasakirobot.de/fileadmin/pdf/katalog/z-serie_de.pdf

Keyence. (2008). Gesamtkatalog Laser-Wegmesssysteme. Schnelle, hochpräzise Punkt-/ 2D-Laser-Wegmesssensoren .

Keyence. (2010). Laser-Wegmesssensor Technologieleitfaden.

Schlüter. (2010). Kartesische Roboter ISPA/ICSPA Katalog. Abgerufen am 16. Mai 2011 von Linearchsen Schlüter Automation: http://linearachsen.schlueter-automation.de/Kataloge/ISA-ICSA_Teil2-D.pdf

Schlüter. (2011). RCS2-RTC. Schlüter Automation GmbH .

Schlüter. (2011). X-Sel Steuerung. Abgerufen am 16. Mai 2011 von Linearchsen Schlüter Automation: <http://linearachsen.schlueter-automation.de/Kataloge/X-SEL%20CNC-Steuerung%202004.pdf>

SMC. (2011) SMC Produktkatalog. Abgerufen am Mai 2011 von: <http://2009.oc.smc-ccc.com/at/index.asp>

Strohrmann, G. (1996). Automatisierungstechnik 2. Wien: Oldenbourg Verlag.

Vetter, G. (2.Auflage - 2001). Handbuch Dosieren. Essen: Vulkan-Verlag.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Steinach, 2011

Ing. Martin Vetter